



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR INŽENÝRSTVÍ RIZIK

DEPARTMENT OF RISK ENGINEERING

**STATISTICKÁ ANALÝZA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ
VYBRANÝMI POLUTANTY**

STATISTICAL ANALYSIS OF AIR POLLUTION BY SELECTED POLLUTANTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Veronika Pernicová, DiS.

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zuzana Balgová, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Studentka: **Bc. Veronika Pernicová, DiS.**
Studijní program: Řízení rizik technických a ekonomických systémů
Studijní obor: Řízení rizik ekonomických systémů
Vedoucí práce: **Ing. Zuzana Balgová, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21
Ústav: Odbor inženýrství rizik

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Statistická analýza znečištění ovzduší vybranými polutanty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kvalita ovzduší se v posledních letech dostává do popředí všeobecného zájmu a je diskutována na všech celosvětových úrovních. Za nejvíce problematické polutanty z hlediska lidského zdraví lze považovat zejména pevné částice, ozón a oxid dusičitý, u kterých dochází nejčastěji k překračování stanovených limitních hodnot na ochranu lidského zdraví. Data o polutantech v ovzduší budou získána z dostupných dat pracovišť Českého hydrometeorologického ústavu a Magistrátu města Brna. Bude provedena statistická analýza získaných časových řad. Ke statistické analýze budou použity metody popisné statistiky, korelační a regresní analýzy. Dále bude vyhodnocena variabilita koncentrací v jednotlivých ročních obdobích a jejich vzájemné porovnání. Závěry statistických analýz budou posouzeny s ohledem na imisní limity vyhodnocovaných polutantů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce bude statistické zpracování dat vybraných polutantů, které mohou mít významný vliv na zdravotní stav obyvatelstva a provedení jejich srovnání s ohledem na místo, čas a způsob měření.

Seznam doporučené literatury:

- UDÍKOVÁ, Marie, Maria KRÁLOVÁ a Bohumil MAROŠ. Průvodce základními statistickými metodami. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 272 s. ISBN 978-80-247-3243-5.
- HINDLS, Richard, Stanislava HRONOVÁ, Jan SEGER a Jakub FIŠER. Statistika pro ekonomy. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. 415 s. ISBN 978-80-869.
- ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ. Ekonomické časové řady. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2009. 290 s. ISBN 978-80-86946-85-6.

HEBÁK, Petr, Jiří HUSTOPECKÝ a Iva MALÁ. Vícerozměrné statistické metody (2). 1. vyd. Praha: Informatorium, 2005. 240s. ISBN 80-7333-036-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jana Victoria Martincová, Ph.D.
vedoucí odboru

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce analyzuje výskyt naměřených imisních koncentrací oxidů dusíku, prachových částic frakce 10 a 2,5 μm a přízemního ozónu v letech 2015–2019 na sedmi vybraných lokalitách území aglomerace Brna. V úvodu práce popisuje základní pojmy, problematiku znečištění ovzduší a příslušnou legislativu. V práci jsou charakterizovány jednotlivé polutanty a popsán jejich účinek na životní prostředí a lidské zdraví. Následně je v práci vymezeno území města Brna, pro něhož je zpracována analýza znečištění. Skrze statistickou analýzu jednotlivých časových řad je znázorněna dynamika vývoje jednotlivých polutantů. Analýza je rovněž zaměřena na rozdíl v míře znečištění během všedních dnů, svátků, ročních období či dopravních špiček. Na veličiny je pohlíženo i z pohledu příslušných imisních limitů a vlivu klimatických faktorů, které jejich koncentrace značně ovlivňují.

Abstract

This thesis analyses an occurrence of detected pollutant concentrations of nitrogen oxides, dust particles of the size of 10 and 2,5 μm and ground ozone in years 2015-2019 in seven chosen locations in Brno agglomeration. In the introduction, the thesis describes basic terms, the issues of air pollution and relevant legislation. Individual pollutants are defined and also their effect on environment and human health. After that, the locations of Brno, for which the analysis is made, is specified. The dynamics of development of individual pollutants is shown through a statistical analysis of individual time lines. The analysis also focuses on the difference in the level of pollution during weekdays, holidays, seasons or rush hour. The quantities are also viewed from the point of view of the relevant air pollution limits and the influence of climatic factors, which significantly affect their concentrations.

Klíčová slova

Znečištění ovzduší; znečišťující látky; Brno; statistická analýza

Keywords

Air pollution; pollutants; Brno; statistical analysis

Bibliografická citace

PERNICOVÁ, Veronika. Statistická analýza znečištění ovzduší vybranými polutanty [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127939>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor inženýrství rizik. Vedoucí práce Zuzana Balgová.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Statistická analýza znečištění ovzduší vybranými polutanty“ jsem vypracoval/a samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil/a autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl/a nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom/a následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně

.....

Podpis autora

Poděkování

Mé velké poděkování patří především vedoucí diplomové práce Ing. Zuzaně Balgové, Ph.D., za odborné vedení celé práce, cenné rady, vstřícnou pomoc, ochotu a věcné připomínky, které mi během psaní práce poskytla. Rovněž děkuji vedoucímu oddělení kvality ovzduší ČHMÚ v Brně Mgr. Jáchymu Brzezinovi, za ochotu, pomoc a inspiraci, kterou mi při psaní práce poskytl. Dále děkuji Ing. Markétě Durnové za poskytnutí dat naměřených koncentracích, jež byla využita v statistické analýze.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině, Barneymu a přátelům zejména Bc. Pavle Dočkalové, za jejich podporu během celého studia na Vysokém učení technickém v Brně.

OBSAH

OBSAH.....	8
1 ÚVOD	10
2 SOUČASNÝ STAV / REŠERŠE	11
2.1 Základní pojmy, znečištění ovzduší a příslušná legislativa	11
2.1.1 Základní pojmy	11
2.1.2 Ovzduší a jeho znečištění.....	13
2.1.3 Politický a legislativní rámec ochrany čistoty ovzduší.....	13
2.2 Charakteristika vybraných polutantů	17
2.2.1 Suspendované částice - PM_{10} , $PM_{2,5}$	17
2.2.2 Oxidy dusíku - NO_x	22
2.2.3 Přizemní ozón - O_3	26
2.2.4 Vliv meteorologických a dalších podmínek na znečištění polutanty.....	29
2.3 Monitoring polutantů ve městě brně	30
2.3.1 Aglomerace Brno.....	30
2.3.2 Zdroje emisí a jejich kategorizace.....	31
2.3.3 Imisní monitorovací síť.....	31
2.3.4 Měřicí stanice na území aglomerace Brno	32
2.3.5 Kvalita ovzduší v Aglomeraci Brno v roce 2019.....	34
2.3.6 Program zlepšování kvality ovzduší v Brně	37
3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ.....	39
4 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ.....	41
5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ / DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	43
5.1 Roční regresní analýza všech stanic během let 2015-2019	43
5.2 Čtvrtletní regresní analýza všech stanic během let 2015-2019.....	47
5.3 Analýza dat ze stanic dětská nemocnice a úvoz	52
5.3.1 Roční regrese.....	52
5.3.2 Čtvrtletní regrese.....	55
5.3.3 Analýza znečištění během jednotlivých měsíců v roce 2019.....	58
5.3.4 Analýza znečištění během všedních dnů a svátků v roce 2019 s ohledem na roční období.....	60
5.3.5 Analýza znečištění během ranních dopravních špiček v roce 2019 s ohledem na probíhající roční období.....	63
6 DISKUZE / ANALÝZA VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ	67

7 ZÁVĚR.....	70
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	71
SEZNAM GRAFŮ.....	73
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	75
SEZNAM ZKRATEK.....	77
SEZNAM PŘÍLOH.....	78

1 ÚVOD

Nacházíme se v 21. století, ve kterém se ukazuje, že znečištění ovzduší prokazatelně nepříznivě působí na lidské zdraví. Polutanty, které znečištění způsobují, jsou příčinou nejrozumnějších zdravotních problémů a to od méně závažných až po ty závažnější, které mohou v krajních případech při nucené zátěži imunitního systému způsobit předčasné úmrtí.

Tyto znečišťující látky kromě působení na lidský organismus působí a negativně ovlivňují vegetaci, jak z pohledu růstu, tak v rámci nižší výnosnosti a plodnosti plodin. Dále toto znečištění způsobuje okyselení půdních a vodních ekosystémů, jež má za následek úbytek rostlinných a živočišných druhů. Skrze znečištění půdy a vody dochází k negativnímu vlivu na potravní řetězec. Tudíž lze říci, že znečištění ovzduší ovlivňuje všechny složky životního prostředí.

Za tímto účelem jsou realizována nejrozumnějších opatření, která mají za cíl v co nejvyšší možné míře snížit množství znečišťujících látek v ovzduší. Jsou proto stanovené jednotlivé imisní limity, jež je třeba sledovat a vyhodnocovat dle toho danou situaci. Tyto limity, jsou stanoveny pro látky, které mají prokazatelné škodlivé účinky právě pro lidský organismus či ekosystémy. Míra znečištění je sledována prostřednictvím stanic imisního monitoringu, které monitorují koncentrace znečišťujících látek na řadě míst v ČR.

Sledováním koncentrací znečišťujících látek pověřilo Ministerstvo životního prostředí, kromě externích dodavatelů, mezi které patří například magistráty měst a další soukromé subjekty, Český hydrometeorologický ústav, který provozuje Státní imisní síť pro území České republiky.

Měřicími stanice na území České republiky disponují i další organizace jakou je například v Brně Magistrát města Brna, který výsledky měření předává ČHMÚ, a který je též v rámci vyhodnocení výsledků znečištění zapracovává a analyzuje. Uvedeným postupem lze získat přehled, jaký trend se v rámci znečištění ovzduší uplatňuje a na jeho základě zpracovat budoucí postupy a určit limity týkající se znečišťujících látek. Přístup k informacím o aktuálním stavu znečištění může každý občan nalézt na webových stránkách ČHMÚ v rámci informačního systému kvality ovzduší, tudíž se jedná o veřejně přístupné údaje.

2 SOUČASNÝ STAV / REŠERŠE

Aby bylo možné lépe pochopit celou problematiku znečištění ovzduší, je třeba uvést a vysvětlit určité pojmy, jež se s ním pojí. Analýza současného stavu se zaměřuje na teoretické vysvětlení dané problematiky.

Ovzduší je součástí životního prostředí, proto bude vymezen tento pojem společně s ovzduším a jeho znečištěním. Dále bude uvedena legislativa, která problematiku životního prostředí definuje, a to jak na území České republiky, tak v evropském kontextu. Následně budou rozebrány konkrétní vybrané polutanty, které budou předmětem následující statistické analýzy. Bude zmíněna jejich charakteristika, jak působí na životní prostředí, na lidský organismus a jejich současné imisní limity. Poslední část bude popisovat, jakým způsobem jsou polutanty měřeny, a které stanice byly pro statistickou analýzu na území města Brna vybrány.

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY, ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ A PŘÍSLUŠNÁ LEGISLATIVA

V následující části budou objasněny základní pojmy, které se pojí s životním prostředím, a které je nutné vzít v potaz pro lepší pochopení celé problematiky.

2.1.1 Základní pojmy

Polutant, znečišťující látka

Polutant, popřípadě v českém prostředí používaný pojem znečišťující látka, je plynná, tekutá či pevná chemická látka, která má v určitých koncentracích a délce působení škodlivý vliv na živé organismy. Polutanty mohou být přírodního nebo antropogenního původu a dále je lze dělit na:

- Primární – vypouštěné různými zdroji přímo do atmosféry,
- Sekundární – vytvářejí se sekundárně v atmosféře reakcí primárních polutantů, např. vznik troposférického O₃ fotochemickými reakcemi. [1]

Emise

Emise je látka, která znečišťuje ovzduší, přičemž maximální koncentraci má u svého zdroje působení (např. komínu či výfuku), a jejíž koncentrace se postupným mísením se vzduchem snižuje. [2]

Mohou být přírodního (např. sopečná či bakteriální činnost, prашné bouře) nebo antropogenního původu, což jsou veškeré zdroje související s lidskou činností (výroba elektřiny, tepla, průmyslová a zemědělská výroba, doprava, aj.). [3]

Emisní limit

Emisním limitem se stanovuje nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek vnášené do ovzduší ze stacionárního zdroje. [4]

Imise

Imise je emise, po přenosu, rozptýlení a po fyzikálně chemických reakcích, do kterých v atmosféře vstupuje. Imise se mohou kumulovat v půdě, vodě či v organismech. Za imise lze považovat též hluk, radioaktivitu, člověkem způsobené změny teplot, těžké kovy a další znečišťující látky, ukládající se v životním prostředí. Množství imise, tedy její koncentrace se vyjadřuje v mg/m^3 nebo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a nejvýše přípustná hmotnostní koncentrace znečišťující látky obsažená v ovzduší je nazývána imisním limitem. [3]

Životní prostředí

Zákonnou definici pojmu „životní prostředí“ lze nalézt v § 2 zákona č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů, které životní prostředí definuje jako „*vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie.*“ Tato definice obsahuje pouze složky a tu část životního prostředí, která vznikla prostřednictvím přírodních procesů, nikoli tu část, jež vznikla lidskou činností. [5]

Pekárek pak definuje tento pojem trochu šířeji. Uvádí, že pojem životní prostředí je spojení dvou slov – podstatného jména „prostředí“ a přídavného jména „životní“. Pojem „prostředí“ vyjadřuje prostor, v rámci kterého se něco či někdo nachází a co ho nějakým způsobem obklopuje. Výraz „životní“ říká, že tím, kdo se nachází nebo je obklopován, je živý organismus. Výraz současně vyjadřuje předpoklad, že tento prostor disponuje takovými vlastnostmi, aby v něm živý organismus mohl existovat. Spojení obou pojmů pak vyznačuje prostor, jež má takové vlastnosti, které umožní existenci živých organismů. Dále říká, že kvalitu daného prostoru ovlivňuje i to, co se v něm nachází a naopak, tudíž zde dochází k vzájemnému působení. [6]

Zákon o životním prostředí však kromě pojmu „životní prostředí“ definuje i v § 9 pojem „ochrana životního prostředí“. Dle něj „*ochrana životního prostředí zahrnuje činnosti, jimiž se předchází znečišťování nebo poškozování životního prostředí, nebo se toto znečišťování nebo*

poškození omezuje a odstraňuje. Zahrnuje ochranu jeho jednotlivých složek, druhů organismů nebo konkrétních ekosystémů a jejich vzájemných vazeb, ale i ochranu životního prostředí jako celku." [5]

2.1.2 Ovzduší a jeho znečištění

Zákon o životním prostředí uvádí jako jednu z jeho základních složek právě ovzduší, u něhož dochází k nějaké formě znečištění. Existuje více možností, jak pojem znečištění ovzduší definovat. Environmental Pollution Centers říká, že: *„Znečištění ovzduší lze definovat jako přítomnost toxických chemikálií nebo sloučenin (včetně látek biologického původu) ve vzduchu na úrovních, které představují zdravotní riziko. V ještě širším smyslu znamená znečištění ovzduší přítomnost chemikálií nebo sloučenin ve vzduchu, které zde obvykle nejsou přítomny, a které snižují kvalitu vzduchu nebo kvalitu života (jako je narušení ozonové vrstvy nebo zhoršení globálního oteplování)."* [7]

Naproti tomu stojí tvrzení Dalyho a Zannettioho, kdy se jasná definice použít nedá. Je to z toho důvodu, že v současné době je chemické složení ovzduší naprosto odlišné od složení, které bylo před průmyslovou revolucí. Jde o to, že bylo-li ovzduší považováno právě před zmíněnou průmyslovou revolucí za čisté, tak v dnešní době by již takové místo nebylo nikde možno nalézt. Všechny škodlivé emise, jež mají antropogenní nebo přírodní původ, lze považovat jako znečištění ovzduší, protože svými vlastnostmi změnily složení atmosféry. Naproti tomu někdo vidí znečišťující látky, jen ty, které vykazují známky škodlivosti pro lidský organismus. Proto je nutné slovo škodlivost definovat. Může to být stav, jež škodí přímo lidskému zdraví, nebo stav, který má negativní vliv na neživé a antropogenní struktury. Je důležité zde zahrnout i přírodní zdroje škodlivých emisí (například plyny a částice vznikající sopečnými erupcemi, erozi půdy či znečištění z lesních požárů, zapříčiněných extrémním suchem a vysokými teplotami), protože i ty působí na lidský organismus a mohou lidské zdraví poškodit. [8]

Když vezmeme v potaz všechny výše zmíněné skutečnosti, pak lze definovat pojem polutant následujícím způsobem: *„Látka znečišťující ovzduší je jakákoli látka emitovaná do ovzduší z antropogenního, biogenního nebo geogenního zdroje, která není přirozeně součástí atmosféry nebo je přítomna ve vyšších koncentracích, než je přirozené a může způsobit krátkodobé nebo dlouhodobé zdravotní následky."* [8]

2.1.3 Politický a legislativní rámec ochrany čistoty ovzduší

Základním strategickým dokumentem EU, z které pak vychází i národní legislativa, je pro oblast posuzování a řízení kvality ovzduší Tematická strategie o znečišťování ovzduší. Cílem tohoto

dokumentu je dosažení takové úrovně znečištění vzduchu, jež nepředstavuje žádné riziko, jak pro lidské zdraví, tak pro životní prostředí a nemá na ně ani žádný výraznější dopad. Na základě této strategie (z roku 2005) provedla rovněž Evropská komise politický přezkum v oblasti ochrany ovzduší na území EU. Výsledkem přezkumu bylo přijetí balíčku opatření (Clean Air Policy Package) v prosinci roku 2013. Tento balíček obsahuje další programové dokumenty, jako např. programový dokument „Čistý vzduch pro Evropu“ s novými cíli kvality ovzduší pro období do roku 2030 (EC 2013a). [9]

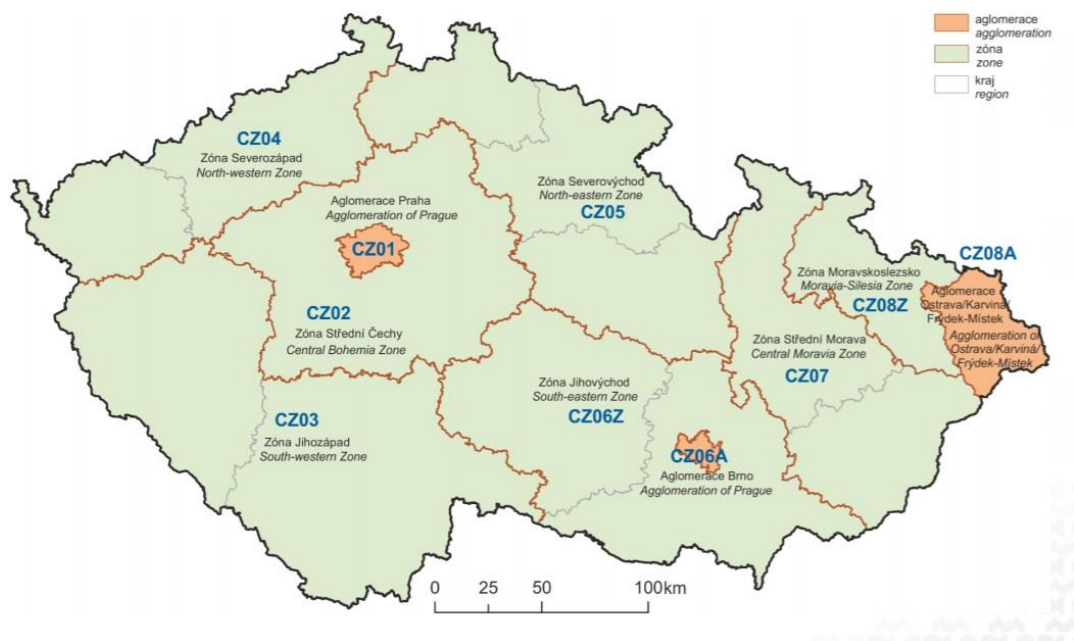
Hlavními evropskými nástroji ochrany a zlepšení kvality ovzduší jsou:

- Směrnice 2008/50/ES, o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu,
- Směrnice 2004/107/ES, o obsahu arsenu, kadmia, rtuti, niklu a polycyklických aromatických uhlovodíků ve vnějším ovzduší,
- Směrnice 2016/2284/EU, o snížení národních emisí některých látek znečišťujících ovzduší,
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU, o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezení znečištění). [9]

Mezi tyto základní směrnice nově řadíme Směrnici komise (EU) 2015/1480 ze dne 28. srpna 2015, kterou se mění některé přílohy směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/107/ES a 2008/50/ES, ty stanovují pravidla pro referenční metody, ověřování údajů a umístění míst odběru vzorků při posuzování kvality vnějšího ovzduší. [9]

Dle požadavku Evropské komise byla pro území ČR zpracována ucelená koncepce řízení kvality ovzduší. Jedná se o koncepční dokument z roku 2015 nesoucí název „Střednědobá strategie (do roku 2020) zlepšení kvality ovzduší v ČR“. Dokument shrnující výstupy Národního programu snižování emisí ČR a deset programů zlepšování kvality ovzduší zpracovaných pro zóny a aglomerace. Tento koncepční dokument mimo jiné slouží i jako podklad pro financování opatření z fondů Evropské unie (skrze operační programy Ministerstva životního prostředí), které vedou ke zlepšení kvality ovzduší a ke snížení. [9]

Evropská legislativa je výchozí pro národní legislativu, která upravuje hodnocení kvality ovzduší na území ČR. Základní právní normou v ČR je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění (dále „zákon o ochraně ovzduší“), který vymezuje sedm zón a tři aglomerace (mezi nimi i Brno), na jejichž úrovni se hodnotí kvalita ovzduší viz **obr. č. 1**. Dále tento zákon stanovuje imisní limity pro jednotlivé znečišťující látky viz **obr. č. 2,3,4**. [9], [4]



Obr. č. 1 - Zóny a aglomerace pro hodnocení kvality ovzduší [9]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid siřičitý	1 hodina	$350 \mu\text{g.m}^{-3}$	24
Oxid siřičitý	24 hodin	$125 \mu\text{g.m}^{-3}$	3
Oxid dusičitý	1 hodina	$200 \mu\text{g.m}^{-3}$	18
Oxid dusičitý	1 kalendářní rok	$40 \mu\text{g.m}^{-3}$	0
Oxid uhelnatý	maximální denní osmihodinový průměr ¹⁾	10mg.m^{-3}	0
Benzen	1 kalendářní rok	$5 \mu\text{g.m}^{-3}$	0
Částice PM ₁₀	24 hodin	$50 \mu\text{g.m}^{-3}$	35
Částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	$40 \mu\text{g.m}^{-3}$	0
Částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	$20 \mu\text{g.m}^{-3}$	0
Olovo	1 kalendářní rok	$0,5 \mu\text{g.m}^{-3}$	0

Obr. č. 2 - Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [4]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Oxid siřičitý	kalendářní rok a zimní období (1. října - 31. března)	$20 \mu\text{g.m}^{-3}$
Oxidy dusíku ¹⁾	1 kalendářní rok	$30 \mu\text{g.m}^{-3}$

Obr. č. 3 - Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace [4]

Účel vyhlášení	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Ochrana zdraví lidí ¹⁾	maximální denní osmihodinový průměr ²⁾	$120 \mu\text{g.m}^{-3}$	25 ³⁾
Ochrana vegetace ⁴⁾	AOT40 ⁵⁾	$18000 \mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}^{6)}$	0

Obr. č. 4 - Imisní limity pro troposférický ozon [4]

Další podrobnosti specifikuje vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích. [9]

Hodnoty jednotlivých imisních limitů vycházejí z doporučených (směrných) hodnot, které stanovuje Světová zdravotnická organizace (WHO) viz **obr. č. 5 a 6**, a které jsou určitým kompromisem mezi doporučeními WHO a ekonomickými dopady těchto limitů. V zájmu ochrany veřejného zdraví doporučuje WHO zachování takové úrovně znečišťujících látek v ovzduší, pro kterou byly nepříznivé dopady na zdraví zdokumentovány. [9], [10], [11]

	Doba průměrování	Vegetace	Doporučená hodnota
NO ₂	kalendářní rok		30 µg.m ⁻³
	24 hodin		75 µg.m ⁻³
SO ₂	rok a zimní období	zemědělské plodiny	30 µg.m ⁻³
	rok a zimní období	lesy a přírodní vegetace	20 µg.m ⁻³
	kalendářní rok	lišejníky	10 µg.m ⁻³
O ₃	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období květen-červenec	zemědělské plodiny	6 000 µg.m ⁻³
	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období duben-říjen	lesy	20 000 µg.m ⁻³
	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období květen-červenec	přírodě blízké ekosystémy	6 000 µg.m ⁻³

Obr. č. 5 - Doporučené hodnoty WHO pro ochranu vegetace [10]

	Doba průměrování	Směrodatná hodnota
PM ₁₀	kalendářní rok	20 µg.m ⁻³
	24 hodin	50 µg.m ⁻³
PM _{2,5}	kalendářní rok	10 µg.m ⁻³
	24 hodin	25 µg.m ⁻³
benzo[a]pyren		není stanovena
NO ₂	kalendářní rok	40 µg.m ⁻³
	1 hodina	200 µg.m ⁻³
O ₃	maximální denní 8h klouzavý průměr	100 µg.m ⁻³
benzen		není stanovena
Pb	kalendářní rok	0.5 µg.m ⁻³
Cd		není stanovena
As		není stanovena
Ni		není stanovena
SO ₂	24 hodin	20 µg.m ⁻³
	10 minut	500 µg.m ⁻³
CO	1 hodina	30 000 µg.m ⁻³
	8 hodin	10 000 µg.m ⁻³

Obr. č. 6 - Doporučené hodnoty WHO pro ochranu lidského zdraví [10]

2.2 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH POLUTANTŮ

2.2.1 Suspendované částice - PM₁₀, PM_{2,5}

Základní charakteristika

Atmosférický aerosol je běžnou složkou, vyskytující se v zemské atmosféře, podílející se na atmosférických dějích, jako je vznik srážek či teplotní bilance Země. Lze jej definovat jako soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic, které mají velikost v rozsahu 1 nm – 100 µm. V rámci zdravotního působení tohoto atmosférického aerosolu na člověka byly vydefinovány velikostní skupiny aerosolu, které se označují jako PM_x (Particulate Matter), a ty v sobě obsahují částice, jež mají aerodynamický průměr do x µm. Nejčastější velikostní rozlišení jež vychází ze zdravotních dopadů těchto frakcí jsou pak PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁. Atmosférický aerosol (suspendované částice) vzniká jako negativní produkt způsobený lidskou činností, ale příčinou vzniku jsou také přírodní procesy, např. eroze půdy, lesní požáry či sopečná činnost. V případě PM₁₀ se vyskytují pokusy o jeho využití respektive o využití elektrárenského popílku jako přísady do betonu nebo tvárnice. Toto využití ovšem může být velmi problematické kvůli možnému uvolnění toxických látek. [12]

Atmosférický aerosol může být dvojího původu, a to jak přirozeného tak antropogenního. Hlavní přirozený zdroj je sopečná činnost respektive sopečné výbuchy, dále pak požáry lesů a částice unášené pomocí větru, nebo jako důsledek odstranění vegetačního pokryvu z půdy.

Významnou roli zastupují i kapky mořské vody, třebaže většina z nich spadne poměrně brzy zpět do oceánu. Bioaerosol je též přirozeného původu a zahrnuje v sobě organismy typu viry, bakterie, houby a případně jejich části a živočišné a rostlinné produkty (spory a pyl). [12]

Hlavním antropogenním zdrojem jsou spalovací procesy, především v automobilových motorech a elektrárnách. Dále pak vysokoteplotní procesy, jako je svařování nebo tavení rud a kovů. Výsledkem těchto procesů jsou částice o velikosti kolem 20 nm, avšak tato hodnota je velmi variabilní a vždy záleží na tom, co je spalováno. Aerosol může rovněž vzniknout při odnosu částic ze stavebních ploch pomocí větru.

Dalším zdrojem jsou také různé zemědělské práce, nepevněné cesty, těžební činnost a jakékoliv procesy, při nichž se vyskytují suspendované částice s určitou velikostí, jako například výroba a použití vápna a cementu. V poslední řadě atmosférický aerosol vzniká v důsledku chemických reakcí plynných složek, tzv. sekundární částice (např. oxidu siřičitého s amoniakem) za vzniku částic o velikosti průměrně 300 nm. [12]

Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje atmosférického aerosolu jsou řazeny:

- Vysokoteplotní procesy, především spalovací,
- Cementárny, vápenky, lomy a těžba,
- Odnoš částic větrem ze stavebních ploch a z ploch zbavených vegetace. [12]

Zdravotní dopady

Částice atmosférického aerosolu se usazují v dýchacích cestách a místo jejich zachytu je závislé na velikosti těchto částic. Větší částice se zachycují na chloupkách v nose a zpravidla nezpůsobují žádné větší zdravotní potíže. Naproti tomu částice menší než 10 μm (PM_{10}) se usazují v průduškách a zdravotní problémy způsobují. Částice, které jsou menší než 1 μm , mohou vstupovat přímo do plicních sklípků, a díky této vlastnosti jsou tyto částice nejvíce nebezpečné. Částice navíc často obsahují adsorbované karcinogenní sloučeniny.

Vdechování PM_{10} poškozuje především plicní a kardiovaskulární systém. Dlouhodobé vystavení organismu těmto částicím snižuje délku dožití a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. Dále může vyvolat vznik chronické bronchitidy a další chronické plicní choroby. Toxicky na lidský organismus působí chemické látky, které jsou obsaženy aerosolu, jako jsou například sírany či amonné ionty. V důsledku adsorpce organických látek s mutagenními a karcinogenními účinky může dlouhodobá expozice PM_{10} zapříčinit vznik plicní rakoviny. [12], [13]

Vysoké koncentrace jemných částic (částice menší než 2,5 μm) se mohou hromadit v plicích nebo v dýchacích cestách a mohou být škodlivé pro člověka. Čím delší je expozice a čím vyšší je množství částic, tím závažnější jsou účinky, včetně:

- Kašle,
- Dušnosti,
- Podráždění dýchacích cest,
- Chrapotu a sípání,
- Plicní dysfunkce
- Chronické bronchitidy,
- Rakoviny, zejména rakoviny plic. [14]

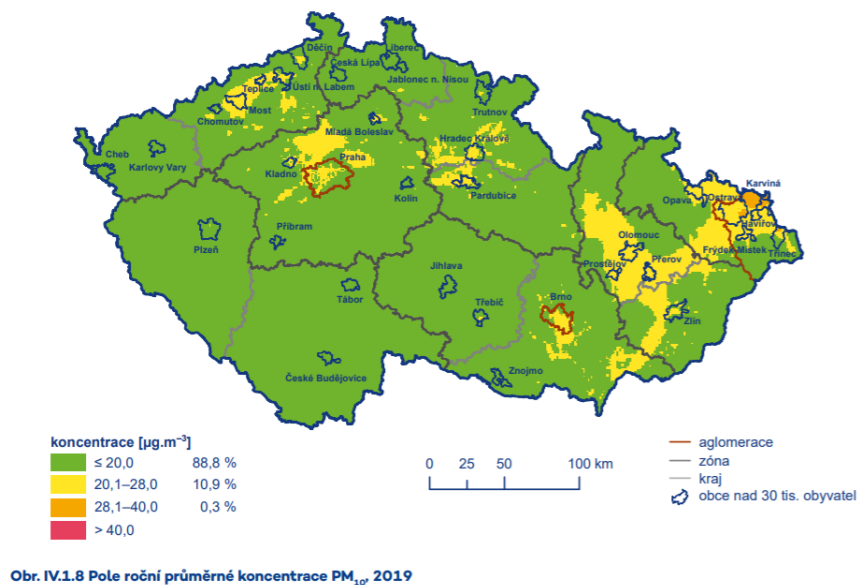
Environmentální dopady

Z ovzduší se aerosol dostává do dalších složek životního prostředí prostřednictvím suché nebo mokré atmosférické depozice. Platí, že čím menší průměr částice má, tím déle zůstane v ovzduší. Částice o velikosti nad 10 μm sedimentují na zemský povrch v průběhu několika hodin, naproti tomu nejjemnější částice (menší než 1 μm) v atmosféře mohou setrvávat po dobu několika týdnů až do té doby, než jsou prostřednictvím mokré depozice usazeny na zem. Materiál zemské kůry (částice půd, zvětralých hornin a minerálů) a bioaerosol tvoří většinu hmotnosti hrubého aerosolu (částice větší než 2,5 μm). Jemný aerosol je pak tvořen především sírany, amonnými solemi, organickým a elementárním uhlíkem a některými kovy. Významnou složkou jak hrubého, tak jemného aerosolu, jsou dusičnany. Aerosol může působit na organismy mechanicky zaprášením, kdy zaprášení listů rostlin vede ke snížení jejich aktivní plochy a u živočichů stejně jako to bylo u lidského organismu prach vstupuje do jejich dýchacích cest. Dalším problémem je toxické působení látek obsažených v aerosolu. Pevné částice v atmosféře ovlivňují zemskou energetickou bilanci tím, že rozptylují sluneční záření zpět do prostoru. Podnebí ovlivňují tyto částice také svým účinkem na tvorbu oblaků. Platí tedy, že jsou-li pevné částice ve velkém množství přítomny při tvorbě oblaků, bude výsledný oblak složen z velkého množství menších kapek. Takovýto oblak pak bude mnohem více odrážet sluneční záření, než oblak tvořený z větších částic. Vlivy aerosolu na klima se však projevují spíše v regionálním měřítku. [12], [13]

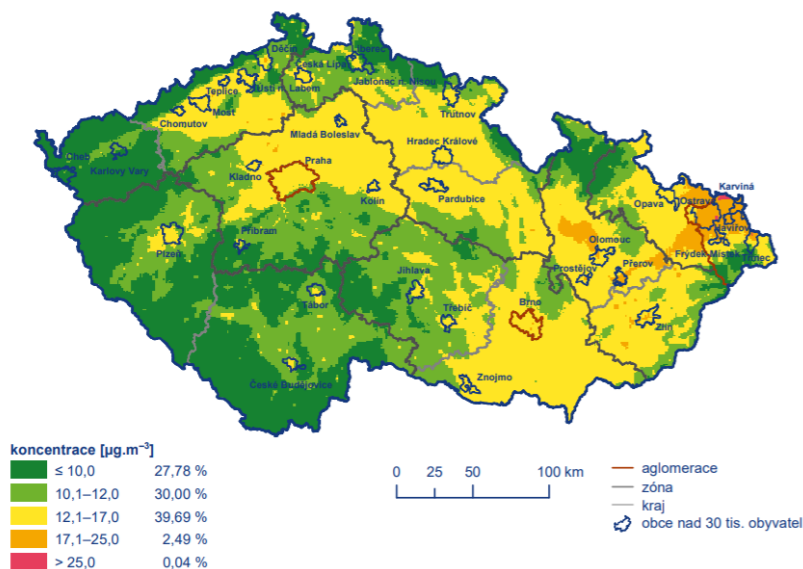
Zdroje znečištění v ČR

Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny tzn. komínem nebo výduchy (průmyslové zdroje, lokální topeniště, doprava), pochází významné množství emisí PM ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skladování a manipulace s prašnými materiály apod.). Dále jsou zde

zahrnuty emise pocházející z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Roční průměrné hodnoty koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na území ČR za rok 2019 lze vidět **na obr. č. 7 a 8.** [9]



Obr. č. 7 – Roční průměrné koncentrace PM_{10} v roce 2019 [9]

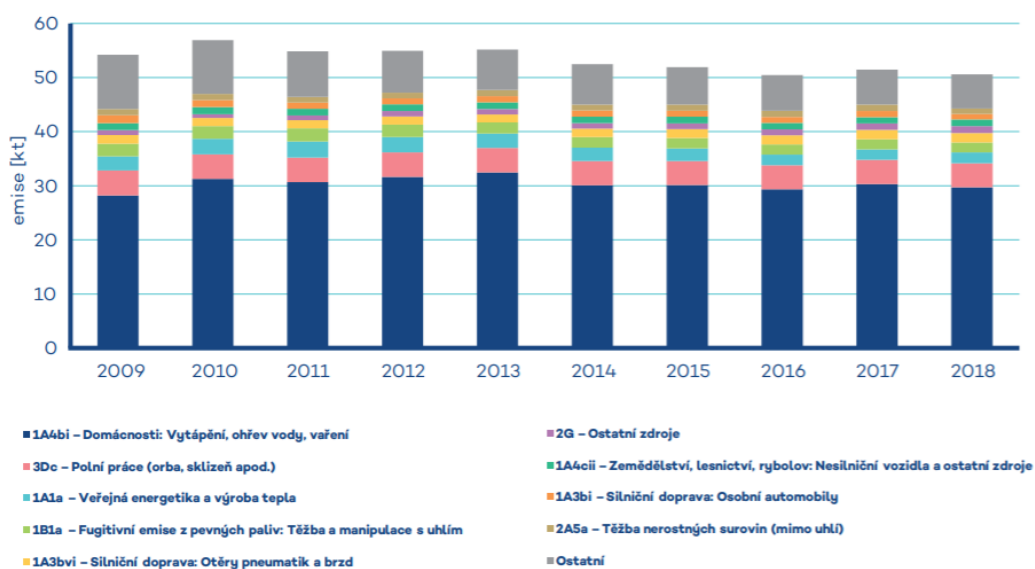


Obr. č. 8 Roční průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2019 [9]

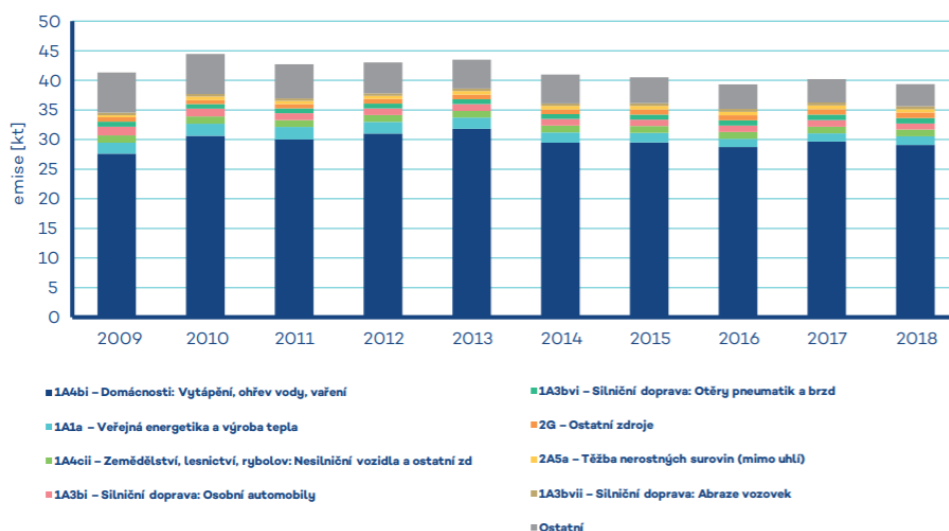
Vývoj podílu kategorií zdrojů znečištění částicemi PM_{10} a $PM_{2,5}$ během let 2009–2018 lze vyčíst z **obr. č. 9 a 10.** Mezi hlavní zdroje emisí částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ v roce 2018 patřil sektor 1A4bi – Lokální vytápění domácností a dalším významným zdrojem emisí PM_{10} byl sektor 3Dc – Polní práce, kdy emise vznikají při obdělávání půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Z pohledu účinku

na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech. [9]

Celkové emise PM_{10} $PM_{2,5}$ v období 2009–2018 mají klesající vývoj. Spotřebu paliv v domácnostech v tomto období lze charakterizovat postupným rostoucím vývojem využití biomasy na úkor ostatních pevných paliv, souvisejícím s širokou nabídkou, cenovou dostupností i dotační podporou při výměně kotlů. Spotřeba zemního plynu vykazuje mírný pokles. Snížení spotřeby nejen zemního plynu, ale také uhelných paliv mezi lety 2017–2018 lze přičítat zvýšené nabídce palivového dříví v důsledku kůrovcové kalamity. K mírnému snížení emisí PM_{10} a $PM_{2,5}$ dochází přirozenou obnovou kotlů, obnovou vozidlového parku, poklesem zemědělské produkce či prostřednictvím zlepšování technologických procesů v průmyslu. [9]



Obr. č. 9 – Vývoj emisí PM_{10} během let 2009-2018 [9]



Obr. č. 10 – Vývoj emisí $PM_{2.5}$ během let 2009–2018 [9]

2.2.2 Oxidy dusíku - NO_x

Základní charakteristika

Skupina v sobě zahrnuje širokou škálu látek oxidů dusíku. Nejčastěji se vyskytující je: oxid dusnatý (NO , bezbarvý plyn bez zápachu) a oxid dusičitý (NO_2 , červenohnědý plyn štiplavého zápachu). V kontextu kvality ovzduší se používá označení NO_x , což je součet oxidu dusičitého a oxidu dusnatého z nichž se počítá následná koncentrace. Dále tato skupina zahrnuje oxid dusitý (N_2O_3), tetraoxid dusíku (N_2O_4) a oxid dusičitý (N_2O_5). Další oxidy dusíku se vyskytují převážně v menším množství, které již nepředstavuje významnější riziko. [15]

Oxidů dusíku, konkrétně tedy oxidu dusičitého (NO_2) je využíváno jako meziproduktu, při výrobě kyseliny dusičné (HNO_3). Oxid dusičitý je rovněž používán jako velmi silné oxidační činidlo v rámci průmyslových procesů a díky jeho oxidačním vlastnostem ho lze využít jako součást raketových paliv. Oxid dusnatý (NO) je pak využíván ve výrobě hydroxylaminu, který vzniká reakcí oxidu dusičitého s vodíkem v přítomnosti katalyzátoru. [15]

Emise oxidů dusíku představují velmi závažný problém především díky tomu, že jsou spojeny se spalováním i ušlechtilých paliv (plyn, nafta) a biomasy. Emise oxidů dusíku mají v současnosti rostoucí charakter. Primárním zdrojem emisí (vytvářejícím až 55 % antropogenních NO_x) jsou i přes zákonem stanovené využívání katalyzátorů motorová vozidla. Je to díky tomu, že při spalování ušlechtilých paliv v motorových vozidlech je dosahováno vysokých teplot hoření, při nichž dochází k oxidaci vzdušného dusíku (N_2) na takzvané vysokoteplotní NO_x . Největším zdrojem NO_x je doprava, energetika a výroba tepla. Mezi další antropogenní zdroje úniků oxidů dusíku jsou řazeny všechny chemické procesy, kde jsou tyto oxidy přítomny a kde může k jejich úniku dojít,

například při výrobě kyseliny dusičné. Tyto výroby jsou vybavovány účinnými zařízeními, které mají zajistit odstranění oxidů dusíku z odpadních plynů. Dále je nutné zahrnout také přírodní zdroje emisí mezi než patří biologické procesy v půdách, kde mikroorganismy v rámci svého životního cyklu produkují oxid dusný (N_2O) a dusík (N_2). Rovněž lze zmínit vznik oxidů dusíku oxidací vzdušného dusíku během výbojů v atmosféře (blesků). [15]

Zdravotní dopady

Oxidy dusíku mohou negativně působit na zdraví člověka především ve vyšších koncentracích. Tyto vyšší koncentrace se však běžně v ovzduší nevyskytují. Vdechování vysokých koncentrací, nebo dokonce čistých plynů, ovšem vede k závažným zdravotním potížím, které mohou v extrémních případech vést až ke smrti. Důvod je ten, že se oxidy dusíku váží na krevní barvivo a významně tak zhoršují efektivnost přenosu kyslíku z plic do tkání. Vdechováním vyšších koncentrací oxidů dusíku dochází k podráždění dýchacích cest. Lze se domnívat, že oxidy dusíku mají určitou roli i při vzniku nádorových onemocnění. [15]

V závislosti na úrovni a délce expozice mohou oxidy dusíku způsobit vážné zdravotní problémy jako jsou:

- Dýchací potíže,
- Křeče v krku,
- Bolest hlavy,
- Únava,
- Nevolnost,
- Závrať,
- Nahromadění plicní tekutiny,
- Snížená plodnost u žen,
- Zmatení,
- Vrozené vady,
- Kašel. [16]

Environmentální dopady

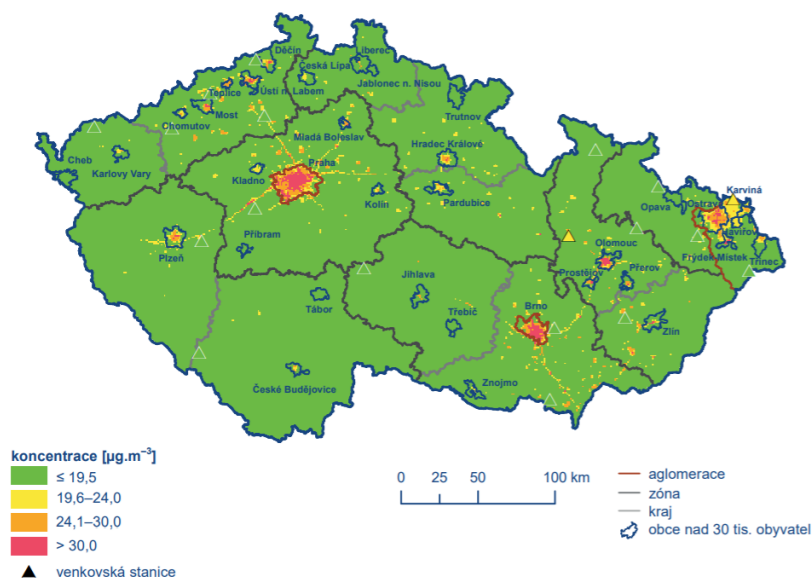
Dusík jako takový je biogenní prvek, který je v přiměřeném množství nezbytný pro růst rostlin a je tak běžně ve formě různých hnojiv dodáván do půdy, čímž zajišťuje podporu pro růst plodin. Naproti tomu oxid dusíku (NO a NO_2) ve vyšších koncentracích naopak rostliny poškozuje, nebo může zapříčinit jejich větší náchylnost vůči negativním okolním vlivům jako je například plíseň či mráz. [15]

Oxid dusičitý je navíc současně s oxidy síry součástí kyselých dešťů, které rovněž negativně ovlivňují jak vegetaci či stavby, ale také způsobují okyselení vodních ploch toků. Příčinou je, že oxidy dusíku v ovzduší postupně přecházejí na kyselinu dusičnou, jež přirozeně reaguje jak se suspendovanými částicemi, tak i s oxidy hořčíku, vápníku a v posledním případě i s amoniakem současně za vzniku tuhých částic, které jsou z atmosféry odstraňovány skrze sedimentaci, ale také je vymýván srážkovou činností. Množství dusíku, které se atmosférickou depozicí dostává do půd, již není zanedbatelné ve srovnání s množstvím pocházejícím z průmyslových hnojiv. Dusičnanové ionty, jež jsou díky tomu v zeminách a vodách přítomny, sice působí příznivě na růst rostlin, ale naproti tomu při vyšších koncentracích zapříčiňují úhyn ryb a vedou k nežádoucímu nárůstu vodních rostlin (tzv. eutrofizace vod). Oxid dusičitý (NO_2) společně s kyslíkem a těkavými organickými látkami přispívá k tvorbě přízemního ozonu a současně tak ke vzniku tzv. fotochemického smogu. Dále pak vysoké koncentrace přízemního ozonu poškozují živé rostliny včetně zemědělských plodin. [15]

Oxid dusnatý (NO) je jedním ze skleníkových plynů, který se kumuluje v atmosféře a společně s ostatními skleníkovými plyny absorbuje infračervené záření zemského povrchu, jež by za normálních okolností uniklo do vesmírného prostoru. Díky tomu přispívá ke vzniku tzv. skleníkového efektu, který zapříčiňuje globální oteplování naší planety. Atmosférická depozice je rovněž zdrojem dusíku pro povrchové vody, platí fakt, že oxidy dusíku jsou látky, které se mohou zahrnout do celkové skupiny oxidů dusíku, která má vliv zejména na vznik tzv. eutrofizace vod. [15]

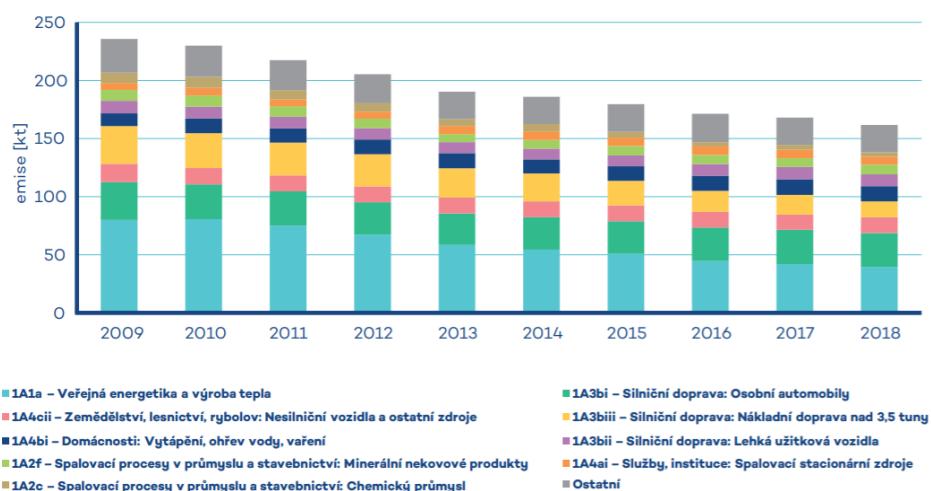
Zdroje znečištění v ČR

Oxidy dusíku (NO_x) se tvoří při spalování paliv v závislosti na teplotě spalování, obsahu dusíku v palivu a přebytku spalovacího vzduchu a vznikají i při některých chemicko-technologických procesech (výroba kyseliny dusičné, amoniaku, hnojiv apod.). Roční průměrné hodnoty koncentrací NO_x v ČR v roce 2019 lze vidět na **obr. č. 11**. [9]



Obr. č. 11 – Roční průměrné koncentrace NO_x v roce 2019 [9]

Emise NO_x s vyšším podílem NO_2 (10–55 %) produkují dieselové motory. Největší množství emisí NO_x tak pochází z dopravy. Vývoj zdrojů znečištění emisemi NO_x během let 2009–2018 lze vyčíst z **obr. č. 12**. Pokles emisí NO_x v období let 2009–2018 souvisí především s přirozenou obnovou vozového parku a se zavedením emisních stropů a přísnějších emisních limitů pro emise NO_x ze zdrojů v sektoru 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla. Podíl jednotlivých typů zdrojů na celkových emisích se liší podle konkrétní skladby zdrojů v dané oblasti. Produkce emisí NO_x je soustředěna především podél dálnic, komunikací s intenzivní dopravou, ve velkých městech a v krajích (Ústecký, Středočeský, Moravskoslezský), kde jsou umístěny významnější energetické výrobní celky. [9]



Obr. č. 12 – Vývoj emisí NO_x v letech 2009-2018 [9]

2.2.3 Přízemní ozón – O₃

Základní charakteristika

Ozon (O₃) je chemická látka obsahující tři atomy kyslíku. Mezi jeho nejvýznamnější fyzikální vlastnosti patří schopnost pohlcovat UV záření (zejména UV-B a UV-C), při kterém se následně ohřívá. Tato vlastnost je důležitá zejména pro ozon stratosférický. Pro troposférický ozon je mnohem významnější vlastností jeho chemická reaktivnost, díky níž působí jako agresivní oxidant. Ozon vzniká tedy ve dvou vrstvách atmosféry. V troposféře za spolupůsobení elektrických výbojů ve vzduchu a ve stratosféře prostřednictvím fotochemických reakcí. Z celkového obsahu ozonu v atmosféře připadá na troposférický ozon asi 5-8 % a zbytek připadá na stratosférický ozon. [17]

Troposférický ozon vzniká za specifických podmínek, kdy nejznámější jsou elektrické výboje, tedy blesky při bouřkách a antropogenní smog. Ozon vzniká při přeměně oxidů dusíku a vzdušného kyslíku za přítomnosti zbytkových radikálů uhlovodíků (NMHC) za vzájemného působení slunečního záření. [17]

Ozon je indikátorem tzv. fotochemického smogu, který se někdy označuje též jako smog oxidační, letní nebo smog losangeleského typu, kdy podle názvu je zřejmé, že se jedná o jev působící zejména v letním období roku. [18]

Mechanismy tvorby a případná odbourávání přízemního ozonu jsou poměrně složité a závisí na vícero okolnostech, zejména pak na:

- Vzájemném poměru množství a koncentrací jednotlivých komponent chemických reakcí, jež probíhají při tvorbě fotochemického smogu
- Intenzitě slunečního záření
- Teplotě a vlhkosti atmosféry
- Tlakových poměrech (rychlosti výměny vzduchových hodnot. [17]

Ozon jako ukazatel výskytu fotochemického smogu je monitorován. V západoevropských zemích je mu vzhledem k jeho stále rostoucím koncentracím a jeho možnému negativnímu ovlivnění všech typů receptorů (lidské zdraví, živočichové, vegetace, materiály, konstrukce) věnována poměrně velká pozornost. [18]

Zdravotní dopady

Ozon je velmi silné oxidační činidlo reagující se všemi druhy organických látek, působící zejména na plicní tkáň a sliznice.

Mezi akutní obtíže, které se vyskytují zejména při vysokých koncentracích ozonu lze uvést především:

- Podráždění očí,
- Podráždění sliznic,
- Kašel,
- Bolesti hlavy. [18]

Chronické účinky u člověka doposud nebyly jednoznačně specifikovány, ale z laboratorních zkoušek je zřejmé, že díky jeho působení dochází ke strukturním změnám plicní tkáně, předčasné úmrtnosti, genotoxickým a karcinogenním účinkům. Na citlivosti lidského organismu vůči expozici ozonem se podílí více faktorů, jako je fyzická zátěž (sport a manuální práce), věk, pohlaví, etnikum, kouření, přítomnost již existujících onemocnění či další faktory životního prostředí. Zvýšenou citlivost vykazují zejména osoby s obstrukčními onemocněními plic a astmatem. Podle některých studií jsou na působení ozonu více náchylnější ženy než muži, obzvláště citlivé jsou pak děti a mladiství. Naproti tomu osoby staršího věku a kuřáci vykazují nižší citlivost než mladší dospělé osoby a nekuřáci. [18], [19], [20]

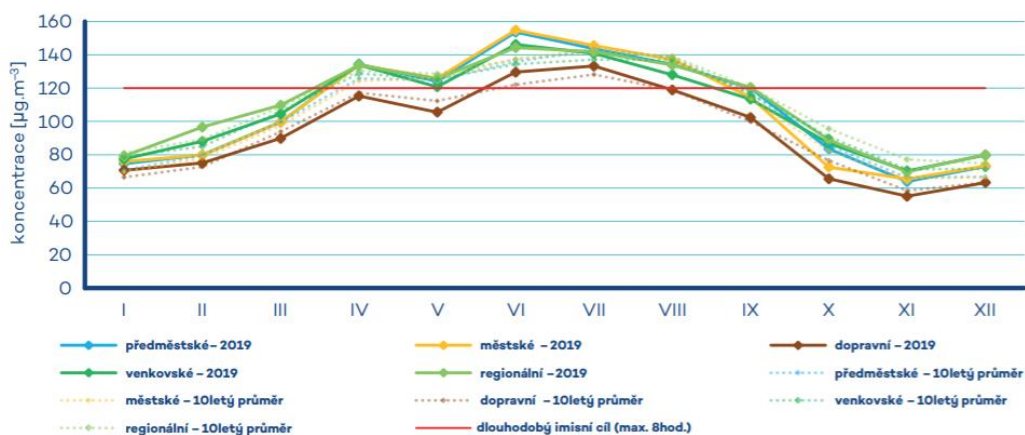
Environmentální dopady

Na působení přízemního ozonu jsou rovněž citlivé rostliny a troposférický ozon je v mnoha zemích považován jako nejvýznamnější fytotoxická škodlivina v ovzduší. Jeho působení poškozuje lesní ekosystémy a snižuje biodiverzitu. Díky tomu jsou vytvářeny a rozvíjeny modely, které odhadují ovlivnění lesních ekosystémů a zemědělských plodin při překročení prahových hodnot ozonu. [18]

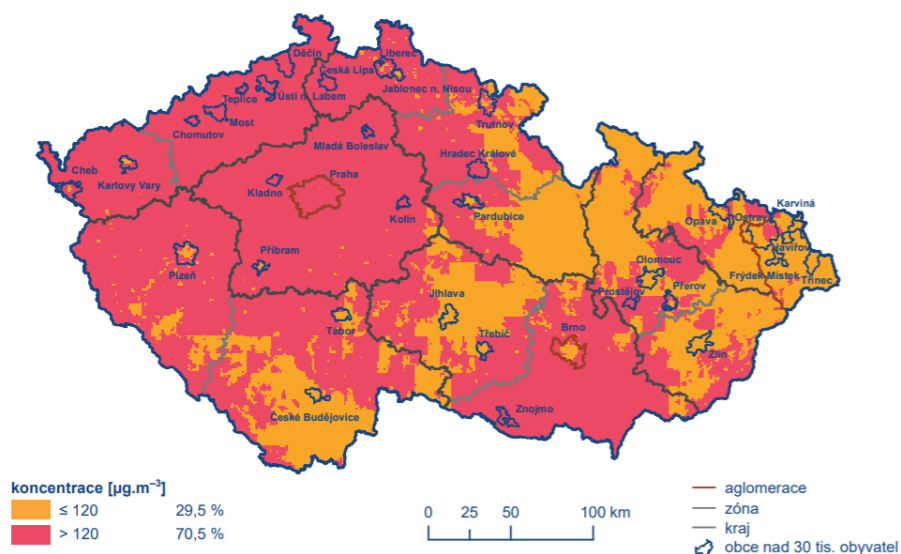
Rostliny reagují na zvýšenou koncentraci ozonu obzvláště citlivě, kdy ovlivňuje jejich růst a dochází u nich jak k latentnímu (chronickému), tak k akutnímu poškození. U zemědělských plodin dochází především ke snížení výnosnosti. [21], [9], [22]

Zdroje znečištění v ČR

Roční chod průměrných měsíčních a denních koncentrací O₃ (maximální 8-mi hodinový průměr za daný měsíc a den) je charakterizován nárůstem koncentrací v jarních a letních měsících, což lze vidět na **obr. č. 13**, a to z důvodu výskytu příznivých meteorologických podmínek pro vznik O₃. Nejvyšší denní 8-mi hodinové hodnoty na území ČR během let 2017–2019 znázorňuje **obr. č. 14**. [9]



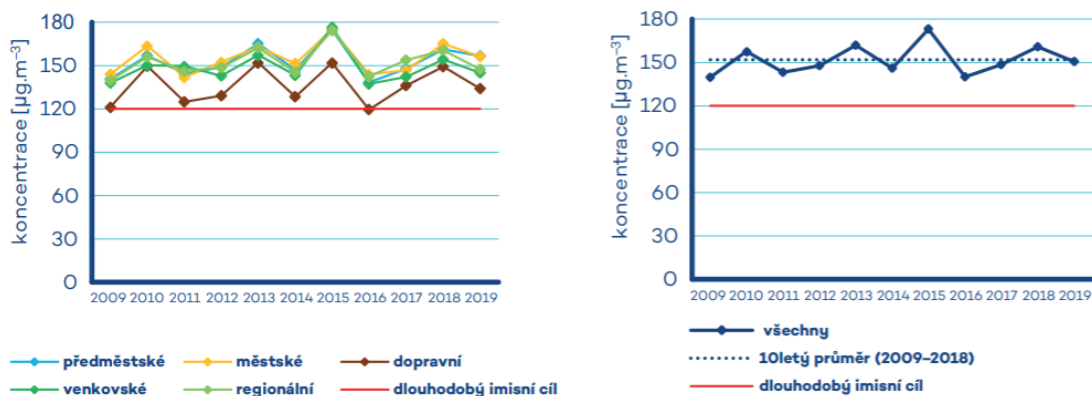
Obr. č. 13 - Průměrné měsíční koncentrace maximálního 8hod. klouzavého průměru O_3 v roce 2019 [9]



Obr. č. 14 – Nejvyšší maximální denní 8hod. průměry koncentrací O_3 v letech 2017-2019 [9]

V roce 2019 se průměrné měsíční koncentrace pohybovaly nad hodnotou imisního limitu O_3 od dubna až do srpna (až do září na předměstských pozadových a regionálních stanicích). Nejvyšší koncentrace O_3 byly naměřeny od června do srpna, což koresponduje s obvyklým výskytem podmínek příznivých pro vznik přízemního O_3 . Nárůst koncentrací během června pravděpodobně souvisí s výskytem mimořádně nadnormálně vysokých teplot a s podnormálním množstvím srážek v červnu 2019. Naopak mírný propad koncentrací přízemního O_3 v květnu 2019 koresponduje s výskytem nižších teplot a vyššího úhrnu srážek. Nejnížší hodnoty koncentrací jsou měřeny na dopravně zatížených lokalitách což lze vidět i na **obr. č. 15**. Hodnoty koncentrací na venkovských, předměstských a městských stanicích jsou v porovnání s koncentracemi

na dopravních stanicích vyšší a dosahují podobných úrovní. Pro přízemní O_3 bylo v roce 2019 vyhlášeno 6 smogových situací v celkové délce trvání 90 hodin. Smogové situace byly vyhlášovány zejména ve třetí dekádě června 2019 a na území Ústeckého kraje i na sklonku července přičemž prahová hodnota pro varování nebyla v roce 2019 na žádné reprezentativní stanici Smogového varovného a regulačního systému (SVRS) překročena. [9]



Obr. č. 15 - Vývoj koncentrací O_3 během let 2009-2019 [9]

2.2.4 Vliv meteorologických a dalších podmínek na znečištění polutanty

PM_{10} a $PM_{2,5}$

Koncentrace PM_{10} vykazují roční chod s nejvyššími hodnotami v chladných měsících roku. Vyšší koncentrace PM_{10} v ovzduší během chladného období roku souvisejí, jak s vyššími hodnotami emisí částic ze sezonně provozovaných tepelných zdrojů, tak i se zhoršenými rozptylovými podmínkami. Vyšší hodnoty koncentrací $PM_{2,5}$ se vyskytují zejména v chladném období roku a jsou, podobně jako u PM_{10} , důsledkem emisí z vytápění a zhoršených rozptylových podmínek. Měsíční koncentrace $PM_{2,5}$ vykazují chod velice podobný ročnímu chodu PM_{10} . Roční chod poměru frakcí $PM_{2,5}$ a PM_{10} souvisí se sezonním charakterem některých emisních zdrojů. Emise ze spalovacích zdrojů vykazují vyšší zastoupení frakce $PM_{2,5}$ než např. emise ze zemědělské činnosti a resuspenze při suchém a větrném počasí. Vytápění v zimním období může být tedy důvodem vyššího podílu frakce $PM_{2,5}$ ve frakci PM_{10} . Pokles během jarního období a začátku léta může být zapříčiněn nárůstem množství větších biogenních částic, např. pylu. [9]

Na dopravních lokalitách je poměr $PM_{2,5}$ vůči PM_{10} nejnižší. Při spalování paliv v dopravě se emitované částice nalézají především ve frakci $PM_{2,5}$, a poměr by měl tudíž být u dopravních lokalit vysoký. To, že tomu tak není, zdůrazňuje význam emisí větších částic z otěrů pneumatik, brzdového obložení a ze silnic. Zastoupení hrubé frakce na dopravních stanicích narůstá i v důsledku resuspenze částic ze zimního posypu. K navýšení koncentrace PM_{10} může dojít i v důsledku zvýšené

abraze silničního povrchu posypem a následnou resuspenzí obroušeného materiálu. Naproti tomu vyšší poměr frakcí $PM_{2,5}$ a PM_{10} v důsledku emisí ze spalovacích procesů je pozorován na průmyslových stanicích. [9]

NO_x

Na městských lokalitách (pozařových i dopravních), kde jsou hlavním zdrojem NO_x emise z dopravy a kde jsou zaznamenávány nejvyšší hodnoty koncentrací NO_2 , vykazují průměrné měsíční koncentrace NO_2 výrazný roční chod s maximy v zimním období, které jsou spojené s meteorologickými podmínkami (nižší intenzita slunečního záření a zhoršené rozptylové podmínky). Naopak v období duben–září je obecně patrný pokles koncentrací NO_2 . Důvodem tohoto poklesu je vyšší intenzita slunečního záření. Z produktů fotodisociace (při absorpci slunečního ultrafialového záření) se za vhodných podmínek vytváří přízemní ozon, a proto jsou v období duben–září koncentrace přízemního ozonu vyšší. V zimních měsících dochází k navýšení pozařových koncentrací NO_2 převážně kvůli horším rozptylovým podmínkám, nižší intenzitě slunečního záření, případně působení sezonních emisních zdrojů. Velký vliv na průběh koncentrací mají meteorologické a rozptylové podmínky, respektive ty nepříznivé, které způsobují vyšší koncentrace NO_x a NO_2 . Klesající trend emisí NO_x souvisí především s přirozenou obnovou vozového parku a se zavedením přísnějších emisních limitů jak v oblasti dopravy v oblasti energetiky a výroby tepla. Produkce emisí NO_x je soustředěna především podél dálnic, a komunikací s intenzivní dopravou. [9]

O_3

Imisní koncentrace O_3 rostou s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou, naopak klesají s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu. Vysoké koncentrace bývají spojeny s déletrvající anticyklonální situací. Koncentrace O_3 se mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O_3 do troposféry a také při bouřkách. O_3 je z atmosféry odstraňován reakcí s NO a suchou či mokrou depozicí a interakcí s rostlinami. Dále v oblastech kde jsou relativně nízké koncentrace NO_x a vysoké kontrakce těkavých organických látek, narůstají koncentrace O_3 . [9]

2.3 MONITORING POLUTANTŮ VE MĚSTĚ BRNĚ

2.3.1 Aglomerace Brno

Aglomerace Brno je shodná se správním územím statutárního města Brno. Město Brno se nachází v Jihomoravském kraji na svazích Brněnské vrchoviny a rozlohou zaujímá 230 km². S počtem obyvatel 381 346 (k 1. 1. 2020) se jedná o druhé největší město v České republice. Brno

je členěno celkem na 29 městských částí. Brno se řadí mezi města s dobře rozvinutým průmyslem a terciárním sektorem. [23]

Město má výhodné geografické postavení, umožňující dobré vazby s jižní a východní Evropou, což se podílí na ekonomickém růstu, což se následně projevuje v rámci HDP České republiky. Město se nachází v souběhu dálnic D1 a D2 a v rámci železničního koridoru Berlín-Praha-Česká Třebová-Brno-Vídeň. Součástí města je mezinárodní letiště I. kategorie. Hlavním odvětvím hospodářství je zpracovatelský průmysl, strojírenství, stavebnictví, obchod či školství. [23]

Průměrná nadmořská výška činí 227 m n. m. Severozápadní část patří do oblasti s mírně teplým klimatem, naopak centrální a jihovýchodní část do teplé klimatické oblasti. [23]

2.3.2 Zdroje emisí a jejich kategorizace

Zdroje znečišťování ovzduší jsou z hlediska způsobu sledování emisí rozděleny na zdroje sledované jednotlivě a zdroje sledované hromadně, následně jsou tedy děleny v Registru emisí a stacionárních zdrojů (REZZO). Jednotlivé kategorie znečištění vymezuje příloha č. 2 zákona o ochraně ovzduší, viz. **obr. č. 16**. [4]

Druh zdroje Kategorie	Vyjmenované stacionární zdroje REZZO 1, REZZO 2	Nevyjmenované stacionární zdroje REZZO 3	Mobilní zdroje REZZO 4
Obsahuje	Stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu vyšším než 0,3 MW, spalovny odpadů, jiné zdroje (technologické spalovací procesy, průmyslové výroby, apod.).	Stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu do 0,3 MW, nevymenované technologické procesy (použití rozpouštědel v domácnostech apod., stavební práce, zemědělské činnosti).	Silniční, železniční, lodní a letecká doprava osob a přeprava nákladu, otěry brzd a pneumatik, abráze vozovky a odpary z palivových systémů benzinových vozidel, provoz nesilničních strojů a mechanismů, údržba zeleně a lesů, apod.
Původ emisí	Ohlášené emisní údaje výjma zjednodušených hlášení* podle přílohy č. 11 vyhlášky č. 415/2012 Sb. Zdroje jednotlivě sledované	Vypočtené emise z aktivních údajů získaných např. ze SLDB, výrobních a energetických statistik, Sčítání dopravy a registru vozidel, apod., a emisních faktorů.	
Způsob evidence	<ul style="list-style-type: none"> REZZO 1 – ohlášené emise REZZO 2 – emise vypočítávané z ohlášených spotřeb paliv a emisních faktorů. 	Zdroje hromadně sledované.	Zdroje hromadně sledované.

Obr. č. 16 - Rozdělení zdrojů znečišťování podle způsobu sledování emisí [24]

2.3.3 Imisní monitorovací síť

Jedna z možností, jak lze posuzovat kvalitu ovzduší je analýza dat získaných z imisní monitorovací sítě. Účel monitoringu však není pouze mechanický sběr dat, ale především poskytnutí důležitých informací vědcům, expertům, politikům za účelem plánování a rozhodování se záměrem zlepšení kvality životního prostředí. [3] Za tímto účelem je zbudována síť monitorovacích stanic. Rozlišujeme 3 typy měřících stanic:

- Dopravní – stanice je umístěná přibližně 10 metrů od vozovky s velkou frekvencí dopravy. Tato stanice by měla reprezentovat linii v její co největší délce.
- Průmyslová – stanice by měla být umístěna zpravidla uvnitř průmyslového podniku nebo v oblasti přímo zasažené kouřovou vlečkou.
- Pozadová – stanice, která není bezprostředně ovlivněna žádným zdrojem.

- Hot spot – stanice orientovaná výhradně na sledování vlivu dopravy na znečištění ovzduší. [9]

Dle typu oblasti, ve které se jednotlivé stanice nacházejí pak rozlišujeme stanice:

- Městské – uvnitř městské zástavby.
- Předměstské – na okraji města.
- Venkovské – volná krajina či malá obec. [9]

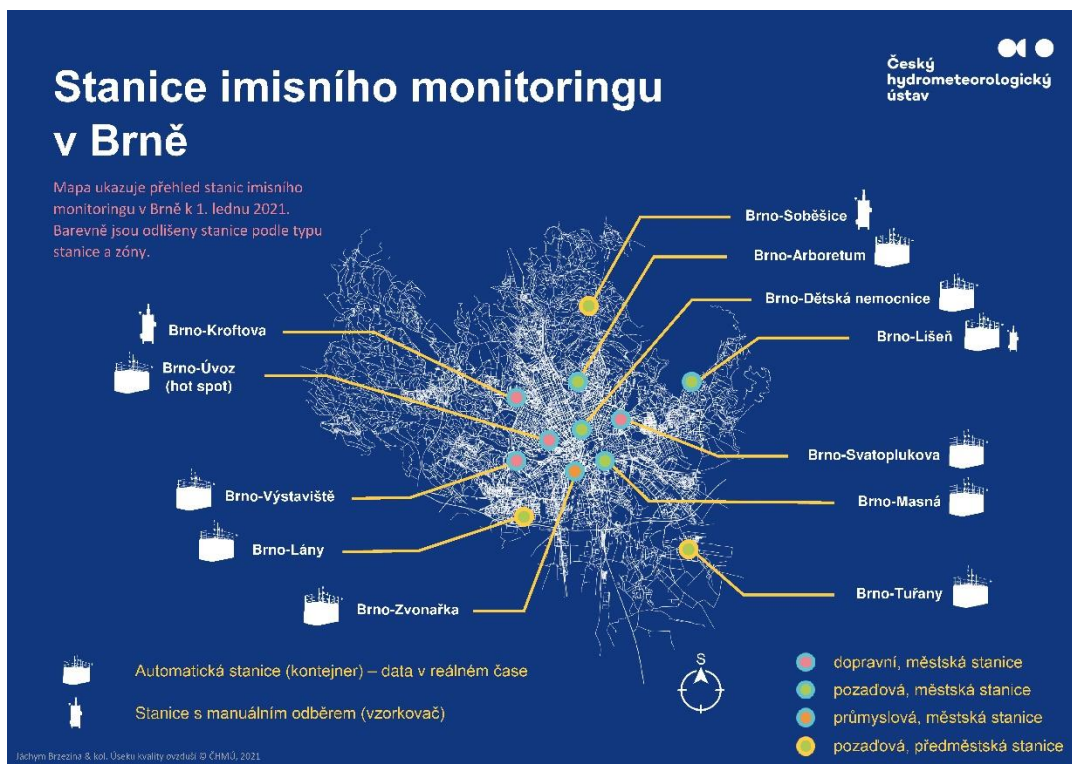
Dle charakteristiky zóny se pak jedná o stanice obytné, průmyslové, obchodní, zemědělské přírodní. [3] A dále na obytné/obchodní, obchodní/průmyslové, průmyslové/obytné, obytné/obchodní/průmyslové, zemědělské/přírodní. [9]

Imisní monitoring lze dále dělit na monitoring látek anorganických a organických, monitoring těžkých kovů a dalších stopových látek, monitoring kvality srážek a atmosférické depozice. [25]

Metody imisního měření jsou děleny především na manuální a kontinuální. Kontinuální metody jsou spojeny s technikou umožňující automatizovaný sběr dat. Na těchto stanicích jsou souběžně měřena i běžná meteorologická data. Manuálními metodami měření jsou pak sledovány a měřeny především těžké kovy nebo polycyklické aromatické uhlovodíky. Toto manuální měření je také využíváno (v případě suspendovaných částic) jako kontrola automatizovaného měření. [3]

2.3.4 Měřicí stanice na území aglomerace Brno

V Brně se v současné době nachází 12 aktivních stanic imisního monitoringu, jež spravují 3 instituce: Magistrát města Brna (MMB), dále ČHMÚ a nakonec Zdravotní ústav (ZÚ) v Ostravě. Stanice jsou zobrazeny na **obr. č. 17**, na **obr. č. 18** lze vidět vzhled konkrétní stanice a dále je jejich výčet uveden na **obr. č. 19**, kde jsou uvedeny i vybrané škodliviny, které jednotlivé stanice měří. Monitorovací stanice spadající pod kompetenci MMB a ČHMÚ, pracují nepřetržitě a jimi naměřená data jsou předávána do centrálního dispečinku odboru životního prostředí a do Informačního systému kvality ovzduší (ISKO), jež ČHMÚ spravuje a v němž dochází k agregaci dat. [9]



Obr. č. 17 – Stanice imisního monitoringu v Brně [26]



Obr. č. 18 – Monitorovací stanice Brno-Zvonařka [27]

Stanice	Vlastník	Typ	Měřená škodlivina										
			SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	No _x	NO ₂	CO	O ₃	Pb	Cd	As	Ni
Brno-Dětská nemocnice	ČHMÚ	požadová městská		x	x	x	x		x				
Brno-Arboretum	MMB	požadová městská	x	x			x	x	x				
Brno-Kroftova	ČHMÚ	dopravní městská		x									
Brno-Lány	MMB	dopravní městská	x	x	x	x	x	x					
Brno-Líšeň	ČHMÚ	požadová městská		x	x						x	x	x
Brno-Masná	ZÚ	požadová městská		x							x	x	x
Brno-Soběšice	ČHMÚ	požadová předměstská		x									
Brno-Svatoplukova	MMB	dopravní městská	x	x	x	x	x	x					
Brno-Tuřany	ČHMÚ	požadová předměstská	x	x	x	x	x		x				
Brno-Úvoz (hot spot)	ČHMÚ	dopravní městská		x	x	x	x	x					
Brno-Výstaviště	MMB	dopravní městská	x	x	x	x	x	x					
Brno - Zvonařka	MMB	průmyslová městská	x	x	x		x	x	x				

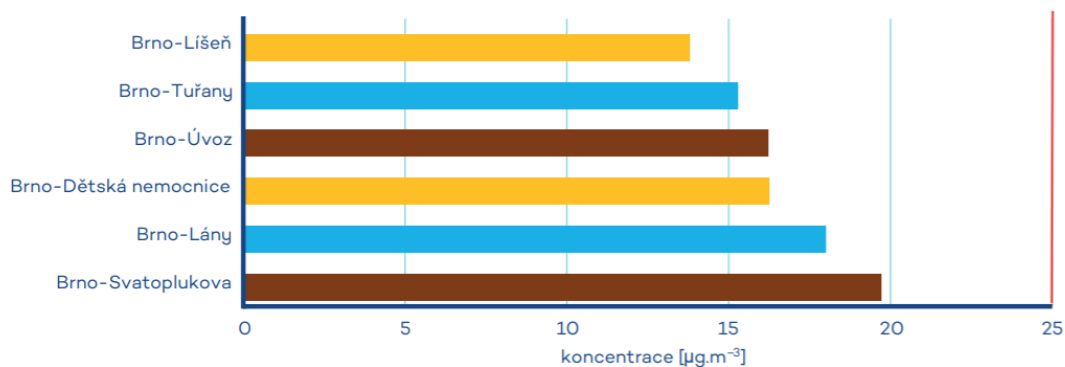
Obr. č. 19 - Tabulkový přehled měřících stanic a měřících škodlivin [vlastní]

Provozovatelé měřících stanic mají autorizaci pro měření, která je řízena MŽP ČR. ČHMÚ disponuje akreditací dle evropské technické normy, která umožňuje odběr ovzduší i zkoušky, což řadí ČHMÚ mezi evropskou špičku. Všechna naměřená data se shromažďují v Informačním systému kvality ovzduší (ISKO), kdy jsou získaná data dostupná on-line už 20-30 minut po skončení průměrované hodiny. Poté dochází k modelování plošného zatížení kvality ovzduší jednotlivými škodlivinami. Naměřené hodnoty a výsledky se pak publikují v podobě Zprávy o životním prostředí, případně ve formě ročenek, jejichž součástí jsou tabelární přílohy, grafy či mapové podklady. [9]

2.3.5 Kvalita ovzduší v Aglomeraci Brno v roce 2019

Suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5}

Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci suspendovaných částic frakce PM₁₀ (40 µg.m⁻³) nebyl v roce 2019 stejně jako v roce předchozím, překročen na žádné stanici v aglomeraci Brno. Ze stanic, které splnily podmínku dostupnosti dat (11 stanic), byla nejvyšší roční koncentrace PM₁₀ na stanici Brno-Zvonařka (35,8 µg.m⁻³). Tato stanice, byla v roce 2019 velmi výrazně ovlivňována rozsáhlými stavebními pracemi v její těsné blízkosti a proto byla v září 2018 dočasně překlasifikována na průmyslovou což trvalo i v roce 2019. Na žádné další stanici povolený počet překročení (35 ročně) překročen nebyl. Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci frakce PM_{2,5} (25 µg.m⁻³) nebyl v roce 2019 překročen na žádné stanici v aglomeraci (viz **obr. č. 20**). [9]



Obr. č. 20 - Průměrná roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ v roce 2019 v Aglomeraci Brno [9]

Pokud srovnáme vývoj průměrných ročních koncentrací na jednotlivých stanicích v posledních letech, můžeme říci, že byl rok 2019 velmi dobrý po stránce koncentrací PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Na drtivé většině stanic byly zaznamenány nejnižší roční průměrné koncentrace PM_{10} od roku 2010 (či od začátku měření na dané stanici, nejpozději od roku 2016), což ukazuje **obr. č. 21**. Například na stanici Brno-Arboretum byla roční průměrná koncentrace poprvé od roku 2013 pod $20 \mu\text{g.m}^{-3}$. Jednoznačně nejnižší byl roční průměr od roku 2010 také na stanicích Brno-Výstaviště, Brno-Lány, Brno-Svatoplukova, Brno-Tuřany, Brno-Soběšice a Brno-Kroftova. U menších částic $\text{PM}_{2,5}$ je situace obdobná. Takto dobrý stav lze vysvětlit několika faktory. Prvním byla velmi teplá zima a obecně teplý rok 2019, což snižuje potřebu vytápění, které je hlavním zdrojem emisí PM_{10} a především $\text{PM}_{2,5}$. Dalším faktorem byly nadprůměrné rozptylové podmínky v tomto roce. Lze také očekávat postupnou obměnu kotlů v domácnosti za nové a postupnou obnovu vozového parku za nové vozy produkující méně látek znečišťujících ovzduší. [9]

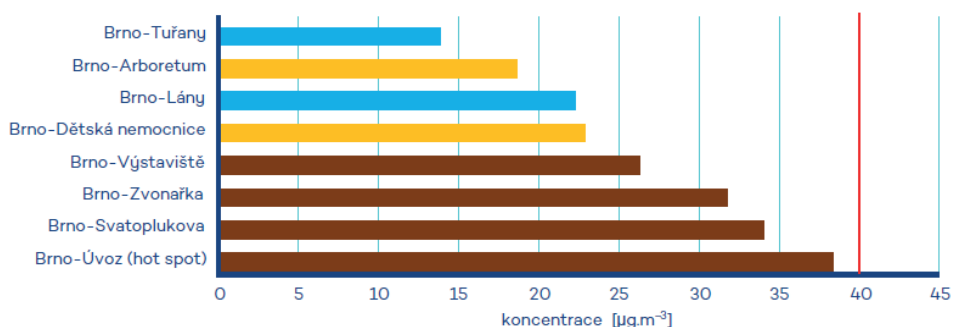


Obr. V.2.4 Průměrné roční koncentrace PM_{10} v letech 2010–2019, aglomerace Brno

Obr. č. 21 – Průměrná roční koncentrace PM_{10} v letech 2010-2019 v Aglomeraci Brno [9]

Oxid dusičitý (NO_2)

Hlavním zdrojem NO_2 v ČR je doprava. Nejvyšší koncentrace NO_2 jsou dlouhodobě sledovány na dopravně nejzatíženějších stanicích, jako je například stanice Brno-Svatoplukova nebo Brno-Úvoz (hot spot). Roční imisní limit pro NO_2 ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nebyl v roce 2019 překročen ani na jedné stanici s dostupnými daty (8 stanic) což dokazuje **obr. č. 22**.



Obr. č. 22 - Průměrné roční koncentrace NO_2 v roce 2019 v Aglomeraci Brno [9]

Nejvyšší průměrná roční koncentrace NO_2 byla naměřena na stanici Brno-Úvoz (hot spot) ($38,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Stejně jako v případě suspendovaných částic lze i zde předpokládat výrazný podíl dobrých rozptylových podmínek v roce 2019 na snížení ročních průměrných koncentrací. Postupně se ale projevuje také obnova vozového parku v ČR, která přispívá ke snížení emisí NO_2 a oxidů dusíku obecně. [9]

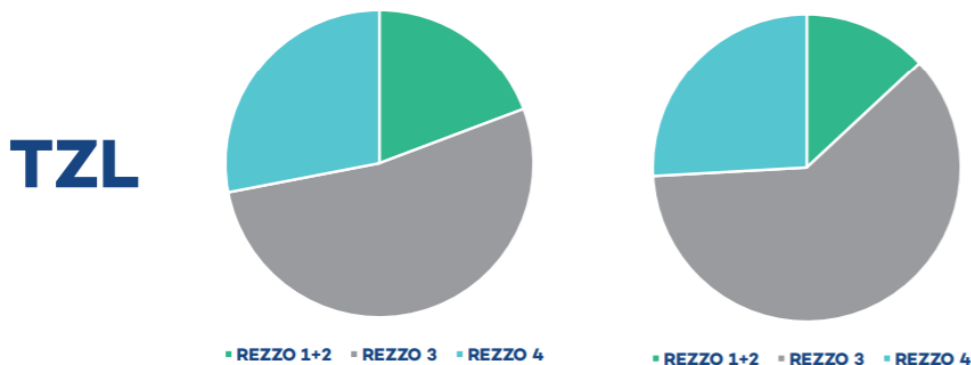
Přízemní ozon (O_3)

Data o koncentracích přízemního ozonu jsou za rok 2019 k dispozici ze tří brněnských stanic, a to Brno-Tuřany, Brno-Lány a Brno-Dětská nemocnice. Imisní limit byl v období 2017–2019 překročen pouze na stanici Brno-Tuřany ($35,0\text{x}$), stejně jako v loňském roce. Příčinou vyšších koncentrací přízemního ozonu na této stanici je její poloha dále od středu města a také umístění ve zcela otevřeném prostoru přistávací dráhy letiště na přímém slunci. Vývoj koncentrací ozonu je velmi úzce spjat s teplotami vzduchu a intenzitou slunečního záření v daném roce. Poslední roky, které jsou charakteristické nadprůměrnými a někdy až silně nadprůměrnými teplotami v létě, výrazně zvyšují počet překročení a koncentrace přízemního ozonu. [9]

Emise v aglomeraci Brno

V současnosti je na území aglomerace Brno individuálně evidováno cca 590 provozoven zdrojů znečišťování ovzduší zařazených do databáze v REZZO 1 a 2. Na celkových emisích se jich významněji podílí pouze několik desítek. Jedná se především o teplárenské zdroje (Teplárny Brno, a. s.), spalovnu komunálního odpadu (SAKO Brno, a. s.) a několik provozoven zpracovatelského

průmyslu (Eligo, a. s., slévárna REMET, s. r. o., nebo Brněnská obalovna, s. r. o. – Chrlice). Zdrojem emisí tuhých znečišťujících látek (TZL) jsou také recyklační linky stavebních odpadů. Podle výstupů Sčítání lidu domů a bytů v roce 2011 převládají u vytápění domácností centrální zdroje tepla (cca 54 % bytů), dále pak plynové kotelny a lokální plynové kotle (dohromady cca 37 % bytů). Pouze v malé části bytového fondu je využíváno jako palivo uhlí, dřevo, popř. koks. Stejně jako u bytů je větší část budov komunální sféry napojena na centrální zásobování teplem, popř. na vlastní plynové kotelny. V období let 2018–2019 došlo u individuálně evidovaných zdrojů k poklesu většiny sledovaných emisí. Rozdíl emisí v čase lze vidět i na **obr. č. 23**, který ukazuje poměr znečištění TZL v roce 2008 a 2018. Dalším významnějším zdrojem emisí TZL jsou slévárenské provozy (např. Slévárna HEUNISCH Brno). [9]



Obr. č. 23 - Emise TZL v členění dle REZZO, aglomerace Brno, 2008 a 2018 [9]

2.3.6 Program zlepšování kvality ovzduší v Brně

Programy zlepšování kvality ovzduší stanovují závazná opatření k dosažení imisních limitů v době co možná nejkratší dle zákona o ochraně ovzduší. Kromě těchto závazných opatření se jednotlivé programy odkazují na tzv. Podpurná opatření představující dobrou praxi při řízení kvality ovzduší na všech úrovních veřejné správy. V současné době je pro Aglomeraci Brno zpracován Program zlepšování kvality ovzduší pro aglomeraci Brno – CZ06A pro období 2020+. Tento program byl schválen 24. 11. 2020 a analyzuje území Aglomerace Brno, posuzuje úroveň znečištění skrze emisní a imisní analýzu. Dále popisuje hlavní příčiny znečištění v blízkosti konkrétních měřících stanic a hledá cíle a opatření pro ochranu ovzduší na území města. [23]

Pro stanovení nových opatření k dalšímu snížení imisních koncentrací je třeba vycházet z příčin znečištění ovzduší v aglomeraci Brno. Pokud jde o překročení ročních koncentrací částic $PM_{2,5}$ v oblasti Brna-Bohunic, je klíčovým zdrojem znečištění ovzduší doprava z nedaleké dálnice D1, která se zde podílí na ročním průměru znečištění ovzduší z 20–30 %. Dalším významným

zdrojem znečištění ovzduší je v případě částic $PM_{2,5}$ v oblasti Brna-Bohunic také lokální vytápění, které se na ročním průměru znečištění ovzduší podílí přibližně z 10–20 %. Co se týče oxidu dusičitého, resp. částic PM_{10} , lze i zde po aplikaci opatření pravděpodobně očekávat. V obou případech jsou rizikovými oblastmi stanice imisního monitoringu Brno-Úvoz (hot spot) a Brno Svatoplukova, jež jsou silně ovlivněny dopravou. U stanovování opatření pro sektor vytápění domácností pro zvýšení pravděpodobnosti dosažení imisního limitu částic $PM_{2,5}$ nebude dostatečné zaměřit se pouze na rizikovou oblast překračování, kterou je MČ Brno-Bohunice, ale cílovou oblastí opatření na lokální vytápění jsou všechny městské části Brna a dále také vybrané obce Jihomoravského kraje (pro které bude toto opatření stanoveno v Programu zlepšování kvality ovzduší zóna Jihovýchod – CZ06Z: Aktualizace 2020). Za tímto účel dochází k podpoře výměny kotlů na pevná paliva. [23]

Opatření pro sektor dopravy pro zvýšení pravděpodobnosti dosažení imisních limitů částic PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_2 , zde je třeba se zaměřit na příčinu vysoké hustoty a kumulace dopravy v Brně, kterou je neoptimální silniční síť. Zejména se jedná o chybějící městský okruh, který by svedl tranzitní dopravu z rezidentních oblastí a umožnil by její plynulejší průjezd. Vyvedení tranzitní dopravy bude mít klíčový dopad na snížení doby setrvání dopravy ve městě (čímž se omezí i množství vypouštěných znečišťujících látek). Optimalizace dopravní sítě není jediné řešení a kromě vyvedení dopravy a zajištění jejího plynulejší průjezdu je třeba se zaměřit i na doprovodná (podpůrná) opatření typu podpora MHD, cyklistická doprava, parkovací politika, alternativní pohony apod. [23]

3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

Cílem diplomové práce je zpracování analýzy znečištění polutanty NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a O_3 , na území města Brna v letech 2015-2019. Podkladová data o polutantech v ovzduší pro následnou analýzu budou získána z dostupných dat pracovišť ČHMÚ a MMB. Konkrétně budou data využita ze sedmi vybraných stanic, které jsou uvedeny na **obr. č. 24**. Závěry statistické analýzy budou posouzeny s ohledem na imisní limity vyhodnocovaných polutantů a budou komentovány z hlediska meteorologických podmínek, které koncentraci ovlivňují. Následně budou zpracována případná opatření na snížení znečištění na území města Brna.

Stanice	Vlastník	Typ	Měřená škodlivina			
			PM_{10}	$\text{PM}_{2,5}$	NO_x	O_3
Brno-Dětská nemocnice	ČHMÚ	pozařadová městská	x	x	x	x
Brno-Lány	MMB	dopravní městská	x	x	x	
Brno-Svatoplukova	MMB	dopravní městská	x	x	x	
Brno-Tuřany	ČHMÚ	pozařadová předměstská	x	x	x	x
Brno-Úvoz (hot spot)	ČHMÚ	dopravní městská	x	x	x	
Brno-Výstaviště	MMB	dopravní městská	x	x	x	
Mikulov-Sedlec	ČHMÚ	pozařadová venkovská	x	x	x	x

Obr. č. 24 - Tabulkový přehled měřících stanic pro praktickou část [vlastní]

Cíle analýzy diplomové práce lze shrnout do následujících bodů:

1. Sledovat trend znečištění daných polutantů během let 2015–2019, a to i z hlediska typu měřících stanic. V této části budou využita měsíční a roční naměřená data ze všech sedmi výše uvedených stanic.
2. Detailnější analýza zaměřená na vliv dopravy na znečištění polutanty během období 2015-2019 a konkrétněji pak v roce 2019. Pro tuto analýzu byla vybrána dopravní měřící stanice – Úvoz, z které byla využita roční a měsíční data během celého období a následné denní i hodinové naměřené hodnoty polutantů PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a NO_x pro rok 2019. Jelikož stanice Úvoz neměří znečištění polutantu O_3 , byla pro data za shodnou časovou dobu jako u výše zmíněných polutantů získána z měřící stanice – Dětská nemocnice. Na těchto dvou stanicích bude zpracována analýza znečištění polutanty během let 2015-2019 s ohledem na roční období.
3. Analyzovat měsíční roční vývoj znečištění všech polutantů v roce 2019.
4. Analyzovat znečištění v roce 2019 s ohledem na roční období s rozlišením na všední dny a svátky.
5. Analyzovat znečištění během ranních dopravních špiček v roce 2019 s ohledem na probíhající roční období.

6. Výsledky analýzy zhodnotí z hlediska vlivu meteorologických podmínek a imisních limitů.

Omezení práce:

- Hlavní limit práce spočívá v množství a dostupnosti kompletních dat, pro některá období v rámci jednotlivých stanic. Je to z toho důvodu, že na stanicích v průběhu let probíhaly údržby, nebo byla chybná měření. Z toho důvodu byla chybná měření dat pro analýzu vyřazena a byla zpracována pouze z relevantních naměřených hodnot o znečištění
- Další omezení vyplývá skrze výměnu letního a zimního času v ČR. Dostupná hodinová data jsou tedy naměřena a vyhodnocena v rámci časového formátu UTC. Jedná se o hodnoty koncentrací, které byly využívány pro zpracování analýzy dopravních špiček. Hodnoty nebudou přepočítávány na daný občanský čas a proto je nutné si uvědomit případný časový přepočet na letní civilní čas (UTC + 2 hodiny), a čas zimní (UTC + 1 hodina).

4 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ

Regresní analýza vývoje trendu

Využití regresní analýzy pro určení trendu spočívá v popsání závislosti sledované závislé kvantitativní proměnné na časových obdobích a případně dalších nezávislých kvantitativních proměnných či kategoriálních převedených na pomocné tzv. „umělé“ proměnné. V případě odhadu trendu vystupuje sledovaná proměnná jako výstupní proměnná y a jako vstupní proměnnou x je zvolené období t . Cílem regrese je nalézt zkoumanou závislost pomocí vhodného regresního modelu a jemu příslušné rovnice. Nejčastěji je používán lineární model popsáný přímkou či kvadratický model popsáný parabolou. Jestliže do modelu vstupuje kategoriální proměnná, například sezónní složka modelu, je nutné ji překódovat na pomocné umělé proměnné, nejčastěji se využívají „dummy“ proměnné. Jedná se o nula-jedničkové proměnné, a to v počtu, kolik bylo kategorií původní proměnné. V případě čtvrtletních dat je to tedy 4. Do modelu pak následně vstupuje o jednu „dummy“ méně, a ta vynechaná představuje referenční kategorii a vůči ní se výsledný regresní koeficient vztahuje i porovnává. Vhodný regresní model je ten, který obsahuje proměnné s významnými regresními koeficienty a zároveň celkový model je podle F-testu na zvolené hladině významnosti α (nejčastěji 5 %) významný. Kvalitní model se pozná také dle toho, že podíl vysvětlené variability modelem je co nejvyšší, což udává koeficient determinace R^2 . Až je nalezen vhodný regresní model popisující výstižně daný jev, je možné provádět odhady pomocí regresní rovnice a tím aplikovat identifikovaný trend. [28]

Limitace predikce pomocí regresní funkce trendu

V případě využití regresní funkce při modelování trendu je regrese omezena pouze na jednu vstupní proměnnou, kterou je období t , jež je uvažováno jakožto číselná posloupnost hodnot začínající od 1. V tomto případě máme pět pozorování, tedy pět období, čili $t = 1, \dots, 5$. Vedlejším cílem kromě určení trendu je odhadnout hodnotu dalšího období odpovídající $t=6$. V případě sezónního očištění je vstupní proměnnou i čtvrtletí, respektive jeho „dummy“ proměnné, tedy q_2 , q_3 a q_4 (q_1 = jaro je vynechaná referenční kategorie). Jelikož data je nutné proložit funkcí, hledáme nejvhodnější funkci, tedy tu, která vysvětlí největší podíl variability dat. Taková funkce je ta s nejvyšší hodnotou upraveného regresního koeficientu R^2 . V našem případě je nejkvalitnějším modelem parabola. Vysvětlující proměnná t tedy vstupuje do modelu víckrát jako její mocniny. Dosazením hodnoty 6 do nově nalezené rovnice pak lze dostat hodnotu odhadu pro další období.

Modelování trendu pomocí regrese je značně omezeno tím, že vstupní proměnná je víceméně jen jedna. Odhad trendu je tedy velice přibližný a jeho informativní hodnota není valná.

Pro přesnější odhady by bylo potřeba mít model s množstvím vstupních proměnných, které mají zásadní vliv na modelovanou veličinu. Proto predikce na základě předchozích hodnot je velice orientační. Dále hodnoty veličin v posledních letech předcházejících odhadovanému roku nemají v modelu výrazně vyšší váhu než starší údaje z let na začátku sledovaného období. Takový zjednodušený model je velice limitován, a proto jeho predikce odráží spíše historický vývoj dané veličiny než aktuální podmínky pro vývoj sledované veličiny do budoucna. Proto se takový model hodí maximálně k odhadu trendu pouze na jedno následující období (jeden další rok), avšak ne pro odhad dlouhodobého trendu. Pro následující roky by bylo vhodné minimálně využít již rozšířený datový soubor o další uplynulé období (rok) a na aktualizovaných datech najít opětovně vhodný kvalitní regresní model a tím identifikovat nový aktuální trend.

Následná analýza obsahuje predikci vývoje koncentrací polutantů pro další období tedy pro rok 2020, avšak znečištění ovzduší je oblast, která se tímto způsobem těžce predikuje. To je z důvodů velkého vlivu koncentrací v závislosti na meteorologických podmínkách, které příliš dopředu predikovat nelze.

Regresní analýza byla zpracována pomocí statistického programu JASP. Data, která byla v rámci něj zpracována a vyhodnocována byla získána pro měřicí stanice, jež je vlastníkem ČHMÚ ze systému ISKO, kde jsou data veřejnosti volně přístupná. Data stanic jejíž vlastníkem je MMB byla získána po konzultaci od vedoucí referátu kvality ovzduší MMB.

5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ / DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Regresní analýza

Regresní analýza je rozdělena do několika částí, a to podle cílů jež byly vytyčeny. Každá část vždy obsahuje data, která byla v dané části analýzy vyhodnocována a jejich příslušné grafické znázornění. Výpočty a výsledné hodnoty jednotlivých regresních analýz jsou součástí příloh. Všechny hodnoty koncentrací, které jsou uvedeny v tabulkách, na obrázcích a grafech jsou uváděny v jednotkách $\mu\text{g.m}^{-3}$.

5.1 ROČNÍ REGRESNÍ ANALÝZA VŠECH STANIC BĚHEM LET 2015-2019

Cílem této části je sledovat trend znečištění daných polutantů během let 2015-2019 na všech vybraných měřicích stanicích, a to i z hlediska typu jejich měření (pozařďové, městské). Jsou zde tedy využita data ze všech sedmi měřicích stanic. Přehled naměřených hodnot je uveden v tabulce na **obr. č. 25**. Následně byly vypočítány průměrné hodnoty znečištění všech polutantů z hlediska jejich typu což lze vidět na **obr. č. 26**.

Na obr. č. 26 lze i zhodnotit dílčí cíl práce v podobě zhodnocení, zda dochází k překračování imisních limitů u příslušných polutantů. Z hlediska členění dat lze využít pouze roční imisní limit a to pouze u polutantů NO_x , PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$, jelikož překračování O_3 se pozoruje z hlediska 8-mi hodinového klouzavého průměru.

Pro ochranu zdraví jsou stanoveny roční imisní limity následovně:

- NO_2 - $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2 společně s NO tvoří skupinu NO_x)
- PM_{10} - $40 \mu\text{g.m}^{-3}$

$\text{PM}_{2,5}$ - $25 \mu\text{g.m}^{-3}$ (od 1. 1. 2020 sníženo na $20 \mu\text{g.m}^{-3}$)

Pro ochranu vegetace je pak stanoven roční imisní limit pro skupinu NO_x na $30 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Z tabulky na obr. č. 26 tak je patrné, že ročně nedocházelo k překračování imisního limitu koncentrací ani u PM_{10} ani $\text{PM}_{2,5}$ (u $\text{PM}_{2,5}$ je to díky tomu, že jsou analyzována data do roku 2019, tedy bereme v potaz imisní limit $25 \mu\text{g.m}^{-3}$). Hodnocení překračování imisního limitu s vlivem na zdraví je u NO_x složitější díky tomu, že limit je stanoven pro NO_2 , které je součástí skupiny NO_x a proto z těchto naměřených koncentrací nelze vyčíst, zda-li byl příslušný limit překročen či nikoliv. Díky tomu byla tabulka (viz **obr. č. 25**) doplněna o roční koncentrace NO_2 , kde je patrné, kde žlutě podbarvená pole značí překročení imisního limitu s ohledem na lidské zdraví, nicméně tato data

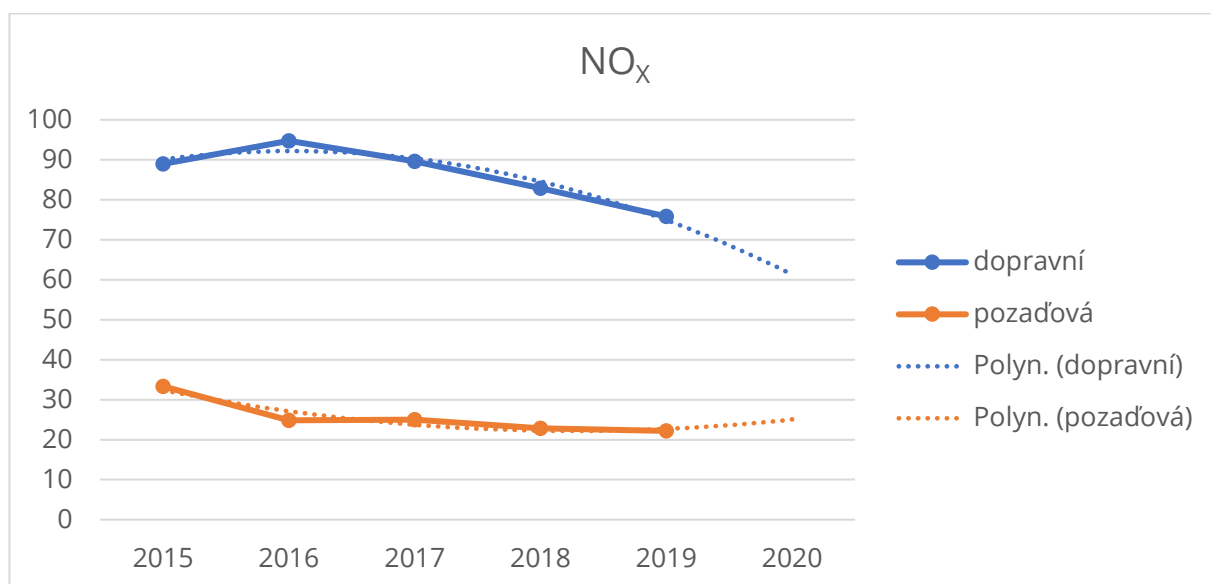
nejdou v analýze využita. Co se týče překračování imisního limitu samotného NO_x pro ochranu vegetace, jeho překročení jsou rovněž žlutě podbarvena.

			NO _x	O ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	
			Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	
stanice	Dětská nemocnice	rok	2015	43,26	44,02	25,40	.	24,80
			2016	43,00	42,41	24,54	18,25	24,12
			2017	41,10	45,94	26,47	20,76	24,64
			2018	41,97	52,15	27,71	21,57	23,52
			2019	39,17	48,02	21,64	16,26	22,86
	Lány	rok	2015	59,28	54,16	26,13	22,14	26,9
			2016	59,16	37,53	26,96	22,07	27,0
			2017	61,39	51,92	25,75	20,81	27,7
			2018	51,42	61,22	29,13	22,49	26,7
			2019	52,25	60,72	22,84	17,86	24,0
	Mikulov-Sedlec	rok	2015	.	61,36	20,01	.	.
			2016	9,80	58,73	18,83	15,22	8,27
			2017	11,19	62,66	19,94	16,04	8,94
			2018	8,50	68,03	22,96	18,48	7,49
			2019	7,93	63,91	17,02	12,64	7,04
	Svatoplukova	rok	2015	123,63	.	30,26	23,81	41,0
			2016	131,84	.	29,03	22,60	48,9
			2017	124,39	.	29,72	21,31	45,1
			2018	125,56	.	33,11	23,79	49,4
			2019	104,66	.	27,98	19,72	36,6
	Tuřany	rok	2015	23,44	52,55	22,48	17,68	17,12
			2016	21,75	49,31	21,97	18,07	15,23
			2017	22,71	50,75	23,80	19,77	15,35
			2018	18,16	59,79	26,45	21,34	13,96
			2019	19,48	54,03	19,81	15,28	13,81
	Úvoz	rok	2015
			2016	104,63	.	23,79	15,30	44,60
			2017	97,41	.	24,99	15,77	43,65
			2018	81,29	.	31,83	18,02	39,94
			2019	80,43	.	26,45	16,22	38,35
	Výstaviště	rok	2015	83,92	.	27,29	.	34,4
			2016	83,36	.	24,71	.	33,9
			2017	75,31	.	24,37	.	32,2
			2018	73,39	.	25,43	.	30,4
			2019	66,04	.	20,05	11,08	28,2

Obr. č. 25 – Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací všech polutantů podle stanic [vlastní]

				No _x Průměr	O ₃ Průměr	PM ₁₀ Průměr	PM _{2,5} Průměr
typ	dopravní	rok	2015	88,95	54,16	27,89	22,98
			2016	94,75	37,53	26,12	19,99
			2017	89,63	51,92	26,21	19,29
			2018	82,91	61,22	29,88	21,44
			2019	75,84	60,72	24,33	16,22
	požadová	rok	2015	33,35	52,64	22,63	17,68
			2016	24,85	50,15	21,78	17,18
			2017	25,00	53,11	23,41	18,86
			2018	22,88	59,99	25,71	20,46
			2019	22,20	55,32	19,49	14,73
	Celkem	rok	2015	66,71	53,02	25,26	21,21
			2016	64,79	46,99	24,26	18,59
			2017	61,93	52,82	25,01	19,08
			2018	57,18	60,29	28,09	20,95
			2019	52,85	56,67	22,26	15,58

Obr. č. 26 - Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací všech dat polutantů podle typu stanic [vlastní]

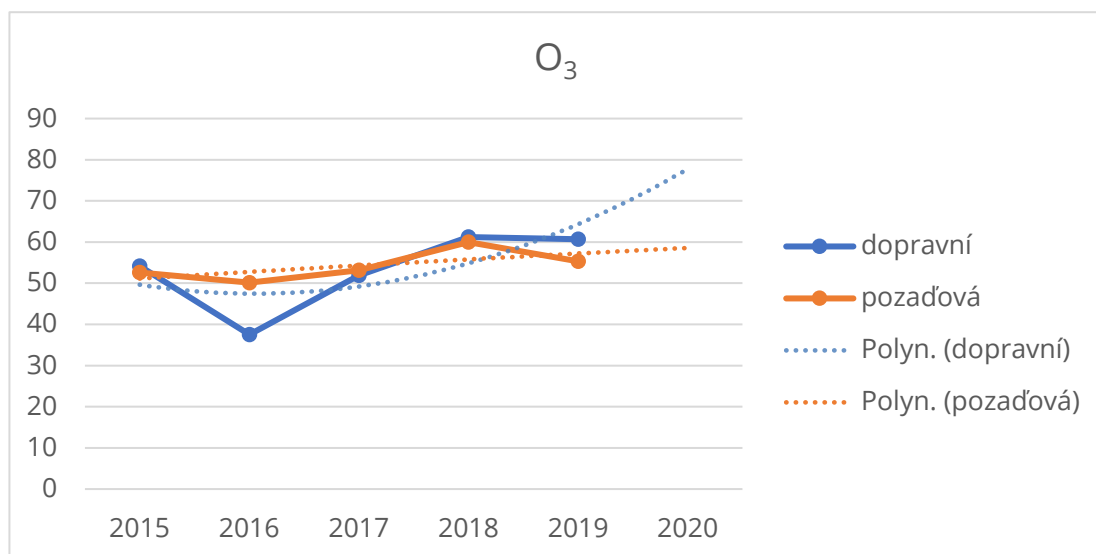


Graf č. 1 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací NO_x podle typu stanice [vlastní]

Modely parabolického regresního trendu vývoje ročních hodnot NO_x pro každý typ stanice zvlášť. Hodnota t označuje období, tedy 2015-2019 označuje 5 období, čili pro rok 2020 je $t=6$.

U polutantu NO_x je vidět postupný pokles naměřených hodnot, kromě roku 2016, kdy byl zaznamenán oproti roku 2016 mírný nárůst u měřících stanic typu dopravní. Je patrný i rozdíl v trendu mezi dopravními a požadovými stanicemi, lze z něj vyčíst, že u dopravních stanic je koncentrace NO_x mnohem vyšší, a to především kvůli dopravě. Celkově lze vidět, že skutečné naměřené hodnoty se příliš nelišily od předpokladů regresního trendu, které znázorňují příslušné

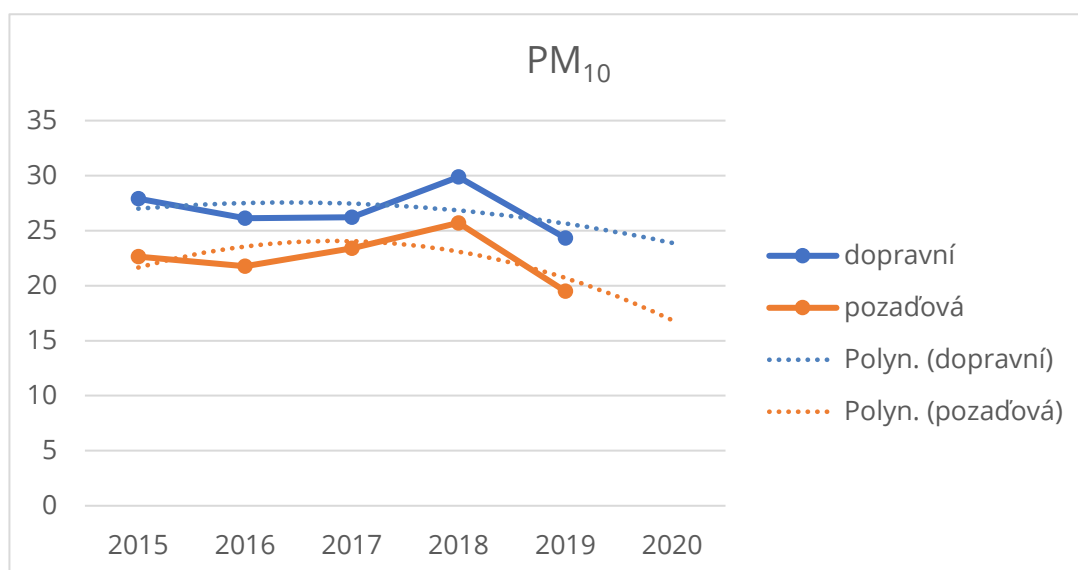
polynomy. Celkově se lze domnívat, že hodnoty NO_x budou mít v dalších obdobích klesající charakter, a to především z důvodů postupné obnovy vozového parku, přísnějších emisních hodnot a skrze obnovu zdrojů vytápění v domácnostech.



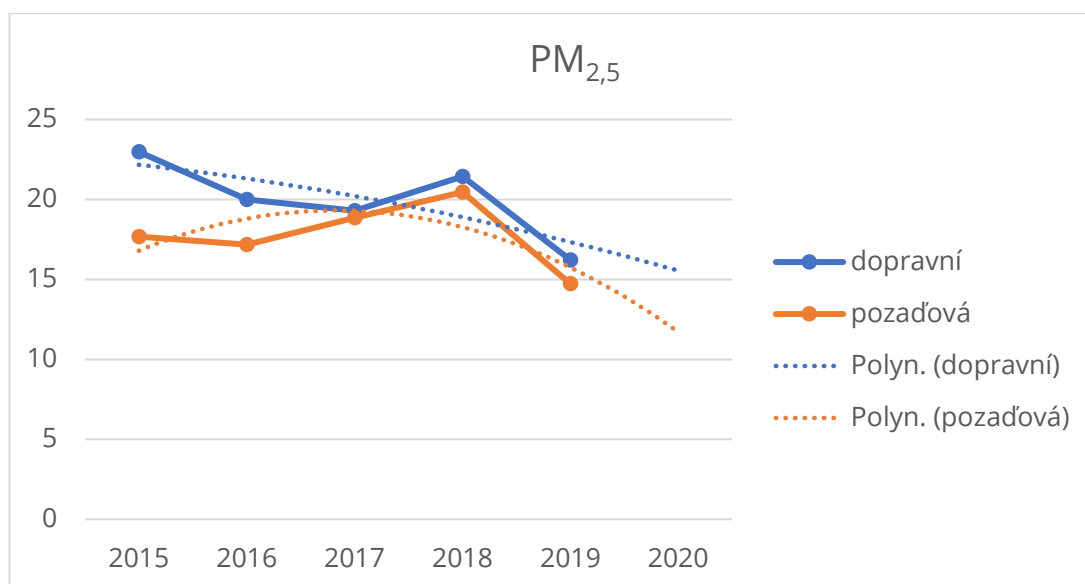
Graf č. 2 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací O_3 podle typu stanice [vlastní]

Modely parabolického regresního trendu vývoje ročních hodnot O_3 pro každý typ stanice zvlášť. Hodnota t označuje období, tedy 2015-2019 označuje 5 období, čili pro rok 2020 je $t=6$.

U přízemního ozonu je patrné, že v průběhu let nedochází k přílišným výkyvům naměřených hodnot, a to ani co se týče rozdílu koncentrací u dopravních a pozadových měřících stanic. Jediný větší výkyv nastal poklesem u dopravních stanic v roce 2016. Regresní trend zpravidla odpovídá reálným hodnotám.



Graf č. 3 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací PM_{10} podle typu stanice [vlastní]



Graf č. 4 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací $PM_{2.5}$ podle typu stanice [vlastní]

Modely parabolického regresního trendu vývoje ročních hodnot PM_{10} a $PM_{2.5}$ pro každý typ stanice zvlášť. Hodnota t označuje období, tedy 2015-2019 označuje 5 období, čili pro rok 2020 je $t=6$.

Podobný vývoj jako měl O_3 lze pozorovat i u koncentrací látek PM_{10} a $PM_{2.5}$. Oba tyto typy prachových částic mají klesající trend, kromě roku 2018, kde nastal u naměřených hodnot nárůst. Tento nárůst nastal vlivem zhoršených rozptylových podmínek, které byly zaznamenány na začátku roku a na konci roku 2018 (v zimních měsících). Obecně jsou koncentrace PM_{10} a $PM_{2.5}$ v zimních obdobích vyšší z důvodu, že největší zdroj znečištění pramení z vytápění domácností. Co zůstává shodné je minimální rozdíl mezi hodnotami, jež byly naměřené u dopravních a pozaďových měřících stanic. Díky regresnímu trendu lze předpokládat další pokles koncentrací v příštím období.

5.2 ČTVRTLETNÍ REGRESNÍ ANALÝZA VŠECH STANIC BĚHEM LET 2015-2019

Za účelem sestavení čtvrtletní analýzy bylo třeba vypočítat průměrné hodnoty koncentrací všech polutantů v rámci ročních období během let 2015-2019. Důležité je říci, že zde jsou jako roční období využívány vždy celé měsíce tedy zima (prosinec, leden, únor), jaro (březen, duben, květen), léto (červen, červenec, srpen), podzim (září, říjen, listopad). Výsledné hodnoty jsou uvedeny v rámci tabulky na **obr. č. 27, 28 a 29**. Na základě těchto hodnot a výsledků ročních regresí jsou sestaveny parabolické grafy (**graf č. 5, 6, 7 a 8**), které zobrazují čtvrtletní trendy jednotlivých polutantů z hlediska typů měřících stanic. Díky tomu lze pozorovat, jak se jednotlivé koncentrace během ročních období mění a jaký je jejich vývoj na základě meteorologických podmínek.

typ	dopravní	rok	2015	čtvrtletí	zima	No _x Průměr	O ₃ Průměr	PM ₁₀ Průměr	PM _{2,5} Průměr
					zima	110,86	40,55	34,45	32,55
					jaro	76,52	64,92	26,94	20,95
					léto	70,59	81,64	23,66	16,69
					podzim	115,19	41,62	29,64	26,41
			2016	čtvrtletí	zima	130,29	19,21	32,56	27,16
					jaro	82,68	42,31	23,79	17,49
					léto	63,69	52,04	18,13	10,86
					podzim	100,54	34,36	28,01	21,65
			2017	čtvrtletí	zima	134,19	29,44	44,78	37,53
					jaro	71,80	66,92	21,80	14,60
					léto	59,27	76,91	17,72	9,41
					podzim	103,79	34,86	23,26	17,70

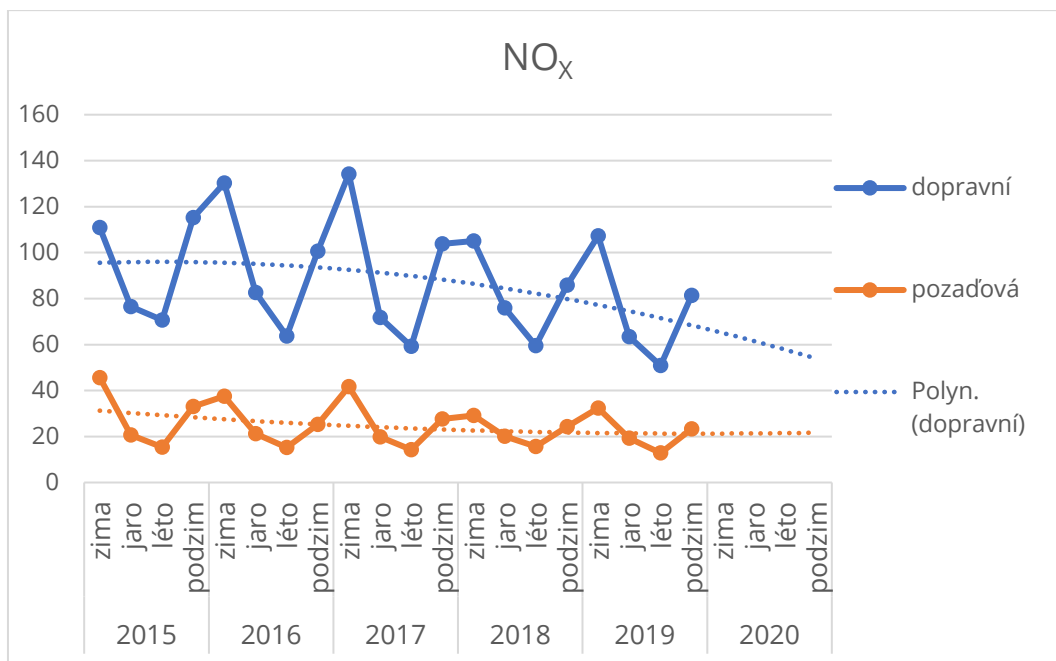
Obr. č. 27 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací všech polutantů podle typu stanice 1. část [vlastní]

	2018	čtvrtletí	zima	105,07	34,83	30,17	25,95
			jaro	75,88	72,48	29,16	18,41
			léto	59,47	88,32	21,31	11,43
			podzim	85,77	57,65	30,63	20,24
	2019	čtvrtletí	zima	107,25	42,04	33,65	27,94
			jaro	63,41	78,02	23,10	13,93
			léto	50,84	81,66	20,04	11,79
			podzim	81,37	42,32	22,22	15,69
požadová rok	2015	čtvrtletí	zima	45,65	34,75	27,52	22,23
			jaro	20,69	60,05	21,12	16,07
			léto	15,39	81,73	20,74	15,33
			podzim	33,07	38,44	22,25	19,17
	2016	čtvrtletí	zima	37,45	29,46	22,87	18,29
			jaro	21,25	58,81	17,39	13,51
			léto	15,19	66,92	17,09	12,25
			podzim	25,28	42,23	25,36	20,30
	2017	čtvrtletí	zima	41,63	34,51	43,90	37,55
			jaro	19,83	61,82	18,41	14,61
			léto	14,27	76,77	15,77	11,39
			podzim	27,60	37,04	19,88	15,46
	2018	čtvrtletí	zima	29,15	36,74	28,00	25,19
			jaro	20,04	72,30	26,07	20,70
			léto	15,62	82,21	18,86	13,43
			podzim	24,27	56,85	25,75	19,13
	2019	čtvrtletí	zima	32,37	36,92	27,84	23,59
			jaro	19,26	66,99	17,58	12,94
			léto	12,81	76,53	16,58	11,74
			podzim	23,30	40,17	18,92	13,46
Celkem rok	2015	čtvrtletí	zima	89,12	36,20	31,48	29,11
			jaro	52,59	61,26	24,03	18,02
			léto	46,94	81,71	22,41	16,01
			podzim	80,00	39,24	26,47	22,79
	2016	čtvrtletí	zima	90,51	26,89	28,40	22,73
			jaro	56,35	54,69	21,05	15,50
			léto	42,91	63,20	17,69	11,56
			podzim	68,29	40,26	26,87	20,98
	2017	čtvrtletí	zima	94,52	33,24	44,40	37,54
			jaro	49,52	63,10	20,35	14,60
			léto	39,98	76,80	16,88	10,40
			podzim	71,14	36,50	21,81	16,58

Obr. č. 28 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací všech polutantů podle typu stanice 2. část [vlastní]

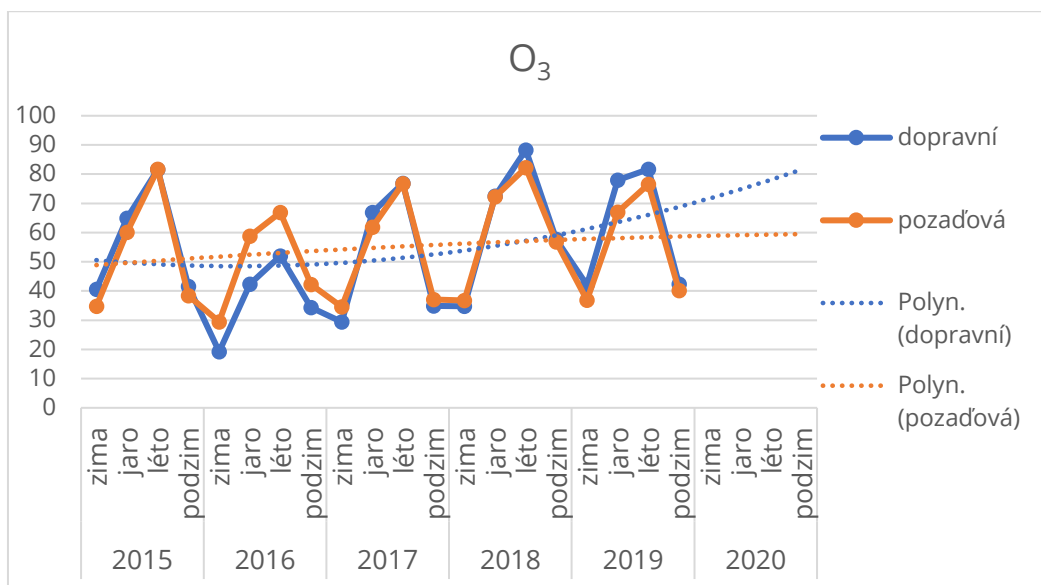
	2018	čtvrtletí	zima	72,53	36,26	29,24	25,57
			jaro	51,95	72,34	27,84	19,56
			léto	40,68	83,74	20,26	12,43
			podzim	59,42	57,05	28,54	19,69
	2019	čtvrtletí	zima	75,16	38,20	31,16	25,77
			jaro	44,49	69,75	20,73	13,51
			léto	34,54	77,81	18,56	11,77
			podzim	56,48	40,71	20,81	14,74

Obr. č. 29 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací všech polutantů podle typu stanice 3. část [vlastní]



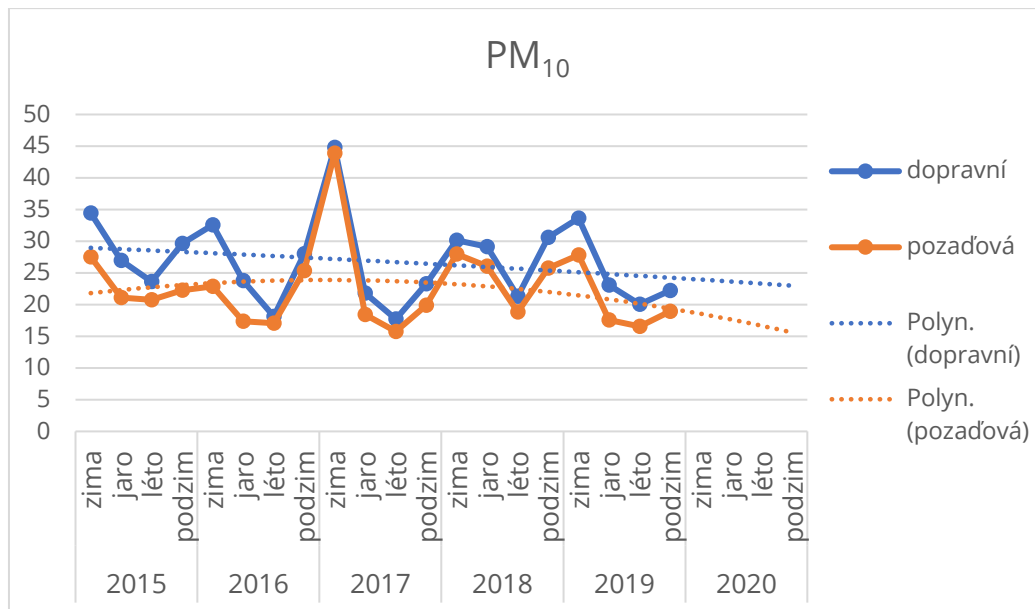
Graf č. 5 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací NO_x podle typu stanice [vlastní]

Jak tomu bylo u ročních koncentrací NO_x, i zde je možné pozorovat značný rozdíl mezi hodnotami, které byly naměřeny v rámci dopravních a pozaďových měřících stanic, tudíž doprava je značný zdroj znečištění. Z grafického zobrazení lze jasně vyčíst, že hodnoty koncentrací NO_x, které s nižšími teplotami rostou (zima, podzim) a s vyššími teplotami spojenými s jarními a letními měsíci klesají. Tento trend je způsoben i tím, že v zimních obdobích se k dopravě jako zdroj znečištění přidávají i koncentrace pocházející z vytápění domácností teplem.

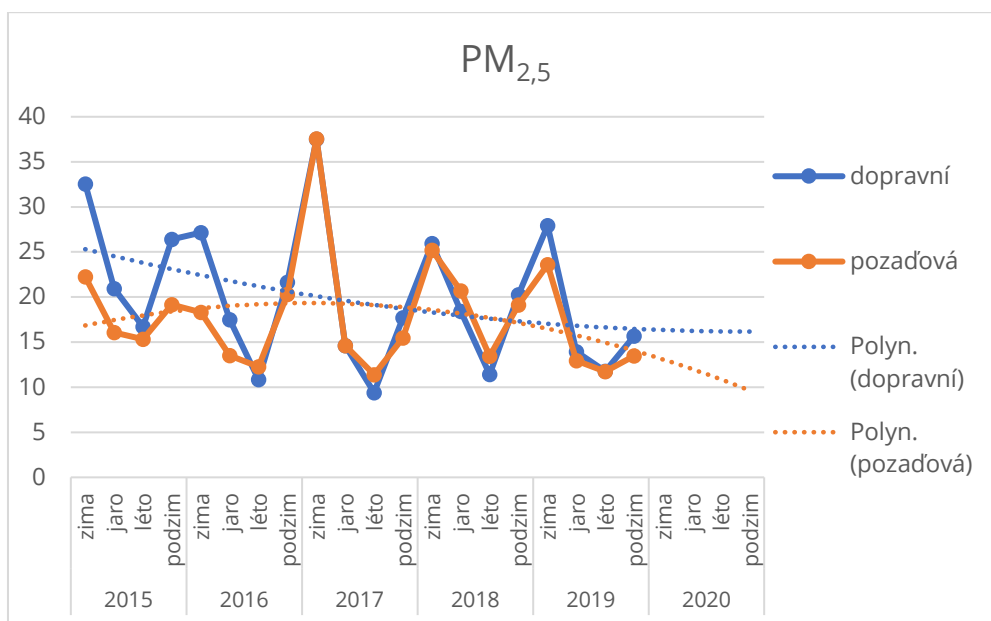


Graf č. 6 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací O₃ podle typu stanice [vlastní]

Jak lze vidět, opačný vývoj oproti NO_x mají hodnoty O_3 , které jsou během teplých ročních období vyšší než na podzim a v zimě. To je zapříčiněno vlivem klimatických podmínek především vlivem slunečního záření. Důležitým faktem, který se zde potvrzuje je ten, že s klesajícími koncentracemi NO_x dochází k nárůstu hodnot O_3 .



Graf č. 7 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM_{10} podle typu stanice [vlastní]



Graf č. 8 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ podle typu stanice [vlastní]

Z grafů č. 7 a 8 je patrné, že stejný trend z hlediska teplotních vlivů následuje u polutantů PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$, kdy s nižšími teplotami jejich koncentrace rostou a naopak. Je zde i patrné, že

mnohem větší hodnoty jsou naměřeny během zimních období, především díky vytápění domácností, které se na znečištění značně podílejí. Důležitým faktorem působící na míru znečištění zůstává i vliv nepříznivých rozptylových podmínek, které bývají v zimních měsících vlivem inverze častější.

Celkově však lze říci, že u čtvrtletní analýzy jsou patrné větší odchylky skutečně naměřených hodnot koncentrací oproti parabolickým trendům.

5.3 ANALÝZA DAT ZE STANIC DĚTSKÁ NEMOCNICE A ÚVOZ

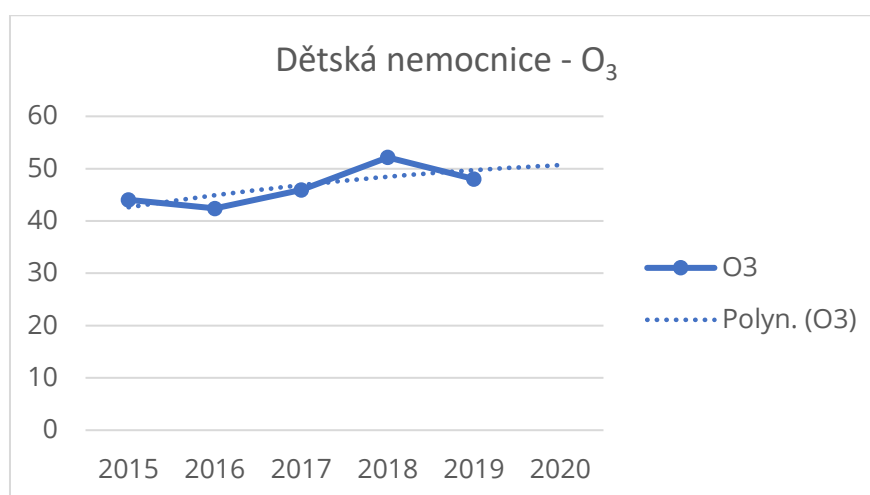
Jak bylo patrné v přechozí části, tak velký vliv na znečišťování má právě polutant NO_x , na který má velký vliv doprava, což je patrné i z rozdílu hodnot v rámci dopravních a pozadových stanic. Proto je dále provedena detailnější analýza se zaměřením na znečištění vlivem dopravy během období 2015-2019 a konkrétněji pak v roce 2019. Jak již bylo zmíněno v cílech diplomové práce, tak pro tuto část analýzy byly vybrány dvě měřicí stanice a to především dopravní měřicí stanice – Úvoz. Z ní byla využita roční a měsíční data během celého období a následné denní i hodinové naměřené hodnoty polutantů PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a NO_x pro rok 2019. Jelikož stanice Úvoz neměří znečištění polutantu O_3 , byla pro data za shodnou časovou dobu jako u výše zmíněných polutantů získána z měřicí stanice – Dětská nemocnice.

5.3.1 Roční regrese

Pro roční regresní analýzu byla využita roční data koncentrací všech polutantů, přičemž konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulkách na **obr. č. 30 a 31**. Tyto hodnoty byly rovněž využity pro výpočet regresí, které byly uvedeny výše, což umožňuje grafické zobrazení ročních trendů znečištění ovzduší polutanty na stanicích Dětská nemocnice a Úvoz. Roční regrese a čtvrtletní byla na těchto stanicích zpracována především kvůli ověření podobného vývoje koncentrací jako tomu bylo při analýze v rámci všech sedmi měřících stanic. V této části byla analýza limitována dostupností relevantních dat pro rok 2015 měřicí stanice Úvoz, proto byla analýza zpracována pouze během let 2016-2019.

		O ₃
Dětská nemocnice		Průměr
rok	2015	44,02
	2016	42,41
	2017	45,94
	2018	52,15
	2019	48,02

Obr. č. 30 - Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací O₃ v Dětské nemocnici [vlastní]

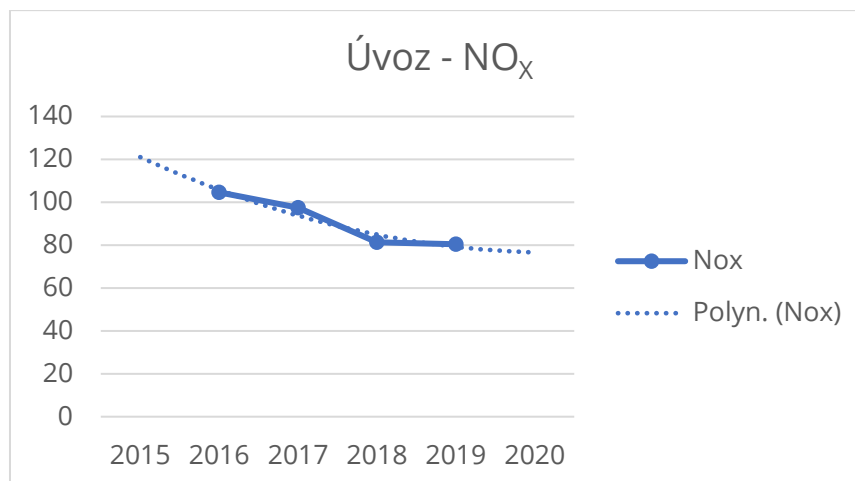


Graf č. 9 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací O₃ stanice Dětská nemocnice [vlastní]

Z grafu lze potvrdit shodu trendu v rámci ročního vývoje koncentrací, jako tomu bylo u pozadových stanic v předchozí celkové analýze všech měřících stanic. Lze říci, že naměřené koncentrace odpovídají regresnímu trendu.

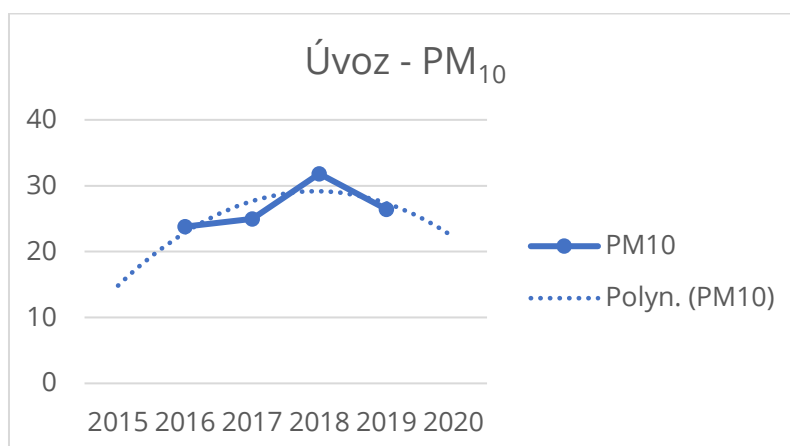
		No _x	PM ₁₀	PM _{2,5}
Úvoz		Průměr	Průměr	Průměr
rok	2015	.	.	.
	2016	104,63	23,79	15,30
	2017	97,41	24,99	15,77
	2018	81,29	31,83	18,02
	2019	80,43	26,45	16,22

Obr. č. 31 - Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací NO_x, PM₁₀ a PM_{2,5} v stanici Úvoz [vlastní]

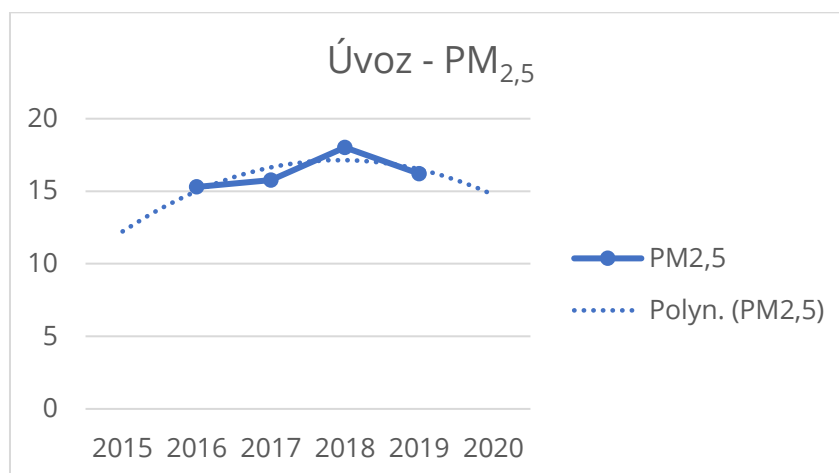


Graf č. 10 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací NO_x stanice Úvoz [vlastní]

Jak je z grafu patrné i zde se potvrzuje pozvolný meziroční pokles v naměřených hodnotách koncentrací NO_x , což může být zapříčiněnou obnovou kotlů k vytápění domácností či postupnou obnovou vozového parku obyvatel spolu se zpřísněním emisních podmínek u stávajících vozidel.



Graf č. 11 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací PM_{10} stanice Úvoz [vlastní]



Graf č. 12 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ stanice Úvoz [vlastní]

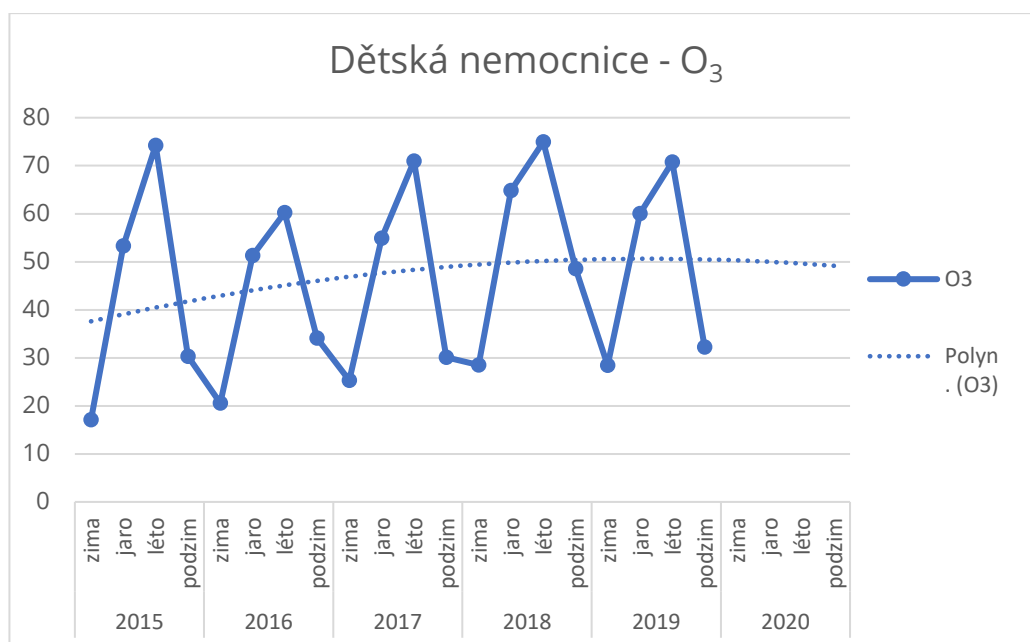
Z grafického zobrazení PM₁₀ a PM_{2,5} je rovněž potvrzen regresní trend z první části, kdy je vidět pozvolný meziroční pokles naměřených koncentrací, kromě roku 2018. Zde je opět vidět vliv zmíněných zhoršených rozptylových podmínek, které panovaly na začátku a konci roku.

5.3.2 Čtvrtletní regrese

Pro provedení čtvrtletní analýzy bylo nutné získat průměrné hodnoty koncentrací všech polutantů na těchto dvou stanicích v rámci ročních období během let 2015-2019. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách na **obr. č. 32 a 33**. Následně je trend hodnot koncentrací jednotlivých polutantů vyobrazen graficky (**graf. č. 13, 14, 15, 16**).

Dětská nemocnice				O ₃
rok	2015	čtvrtletí	zima	Průměr
			jaro	17,12
			léto	53,29
			podzim	74,25
			zima	30,32
	2016	čtvrtletí	zima	20,56
			jaro	51,32
			léto	60,23
			podzim	34,13
	2017	čtvrtletí	zima	25,30
			jaro	54,90
			léto	70,93
			podzim	30,10
	2018	čtvrtletí	zima	28,53
			jaro	64,85
			léto	74,96
			podzim	48,59
	2019	čtvrtletí	zima	28,45
			jaro	60,04
			léto	70,74
			podzim	32,23

Obr. č. 32 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací O₃ stanice Dětská nemocnice [vlastní]

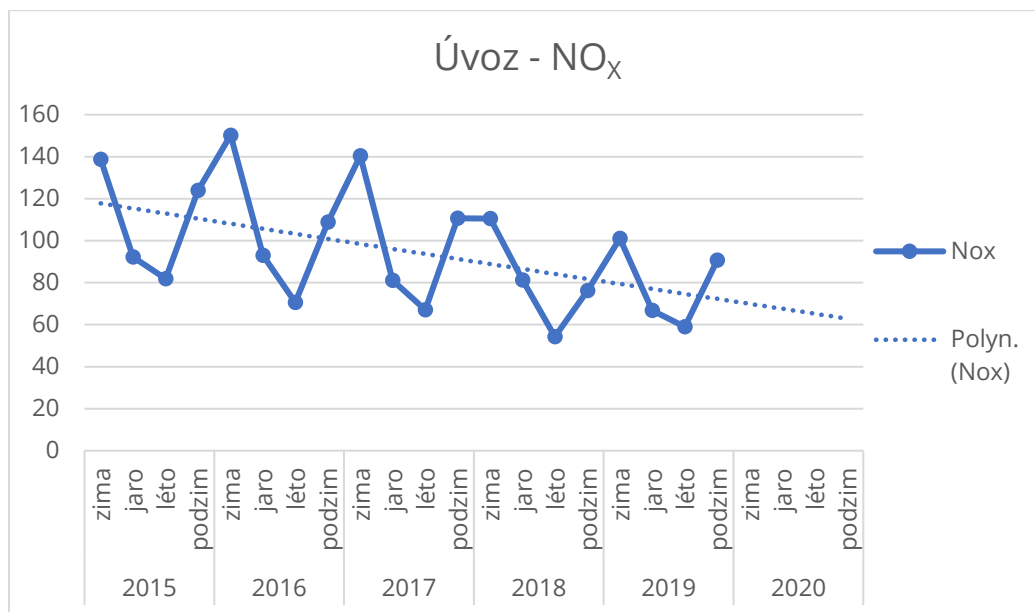


Graf č. 13 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací O₃ stanice Dětská nemocnice [vlastní]

Z grafického zobrazení se i zde potvrzuje opačný vývoj koncentrací O₃ oproti NO_x, kdy hodnoty O₃, jsou vlivem klimatických podmínek, respektive vlivem slunečního záření během teplých ročních období vyšší, než na podzim a v zimě. Zároveň zde potvrzuje fakt, že s klesajícími koncentracemi NO_x (viz **graf č. 14**) dochází k nárůstu hodnot O₃.

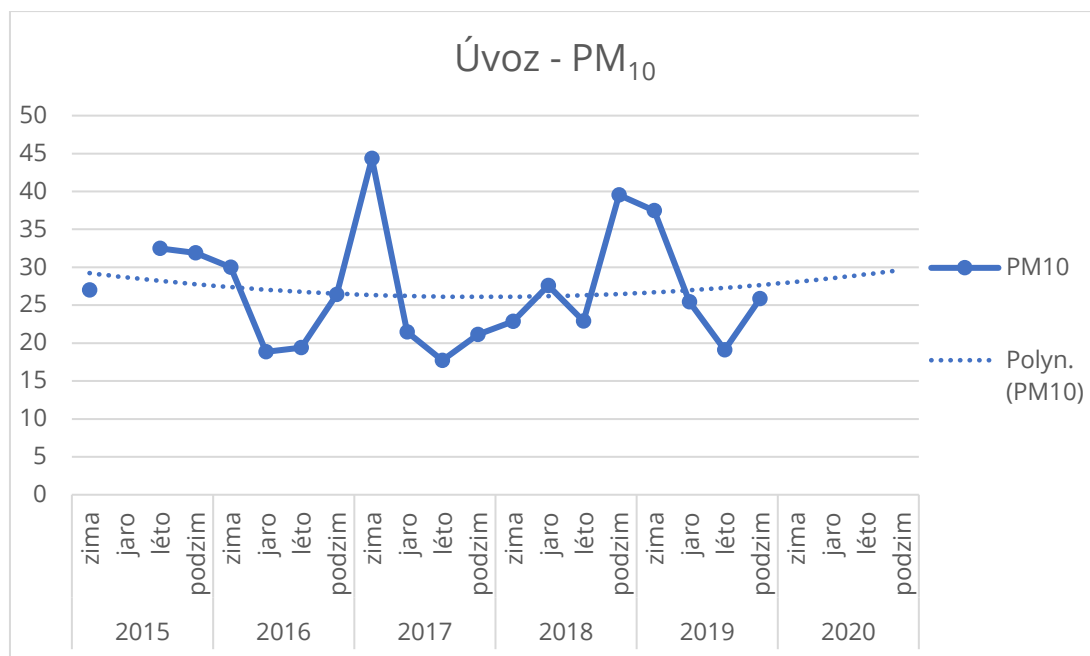
Úvoz				NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}
				Průměr	Průměr	Průměr
rok	2015	čtvrtletí	zima	138,71	27,00	-
			jaro	92,23	-	-
			léto	81,83	32,47	23,63
			podzim	123,94	31,90	27,58
	2016	čtvrtletí	léto	70,65	19,39	9,49
			podzim	108,85	26,41	17,46
			zima	150,23	30,00	21,43
			jaro	92,95	18,85	11,32
	2017	čtvrtletí	zima	140,40	44,35	33,43
			jaro	81,15	21,48	11,86
			léto	67,15	17,72	8,19
			podzim	110,73	21,13	13,91
	2018	čtvrtletí	zima	110,51	22,84	17,17
			jaro	81,23	27,57	13,81
			léto	54,30	22,88	10,93
			podzim	76,24	39,56	19,85
	2019	čtvrtletí	zima	101,07	37,46	26,29
			jaro	66,78	25,42	12,92
			léto	59,03	19,10	10,47
			podzim	90,67	25,87	17,01

Obr. č. 33 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací NO_x, PM₁₀ a PM_{2,5} stanice Úvoz [vlastní]

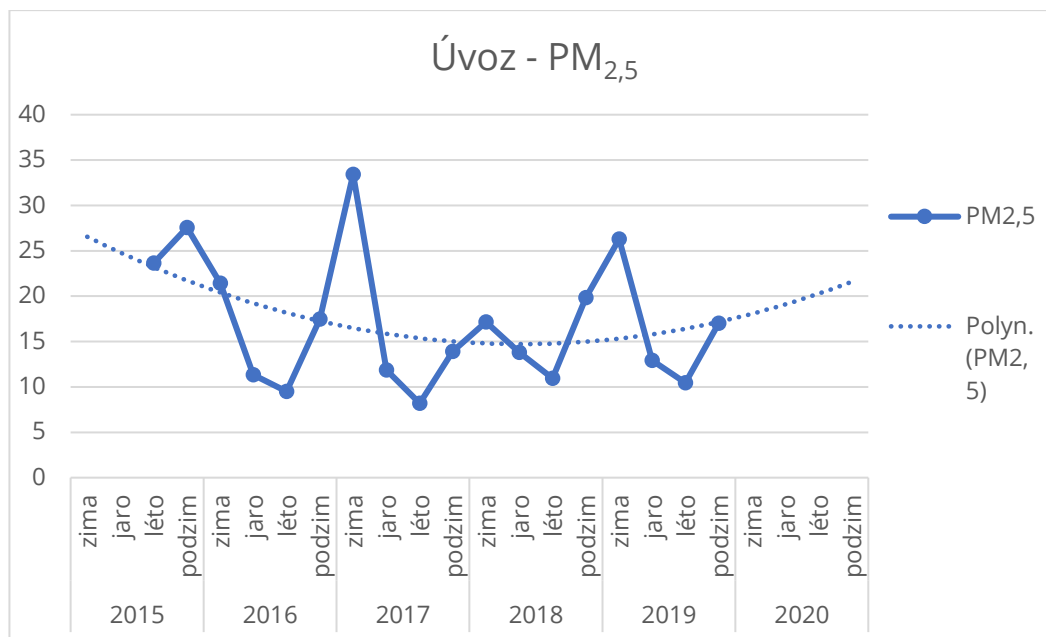


Graf č. 14 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací NO_x stanice Úvoz [vlastní]

Rovněž zde je z grafického zobrazení patrné, že hodnoty koncentrací NO_x, které s nižšími teplotami rostou (zima, podzim) a s vyššími teplotami spojenými s jarními a letními měsíci klesají. Jak již bylo zmíněno je tento trend způsoben i tím, že v zimních obdobích se k dopravě jako zdroj znečištění přidávají i koncentrace pocházející z vytápění domácností.



Graf č. 15 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM₁₀ [vlastní]

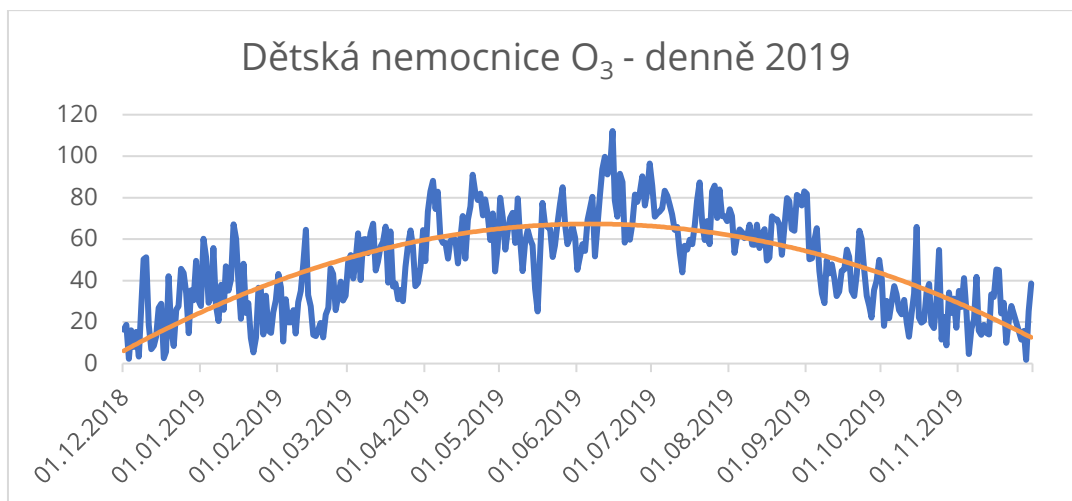


Graf č. 16 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM_{2,5} [vlastní]

Z **grafů č. 15 a 16** vyplývá shodný trend teplotních vlivů na polutanty PM₁₀ a PM_{2,5}, kdy s nižšími teplotami jejich koncentrace rostou a naopak. I zde je patrné, že mnohem větší hodnoty jsou naměřeny během zimních období, především díky vytápění domácností, které se na znečištění značně podílejí. Můžeme vidět větší výkyv na přelomu roku 2016 a 2017, kdy panovala větší zima, což se graficky projevilo. Důležitým faktorem působícím na míru znečištění zůstává i vliv nepříznivých rozptylových podmínek, které se zpravidla v zimních období vyskytují mnohem častěji.

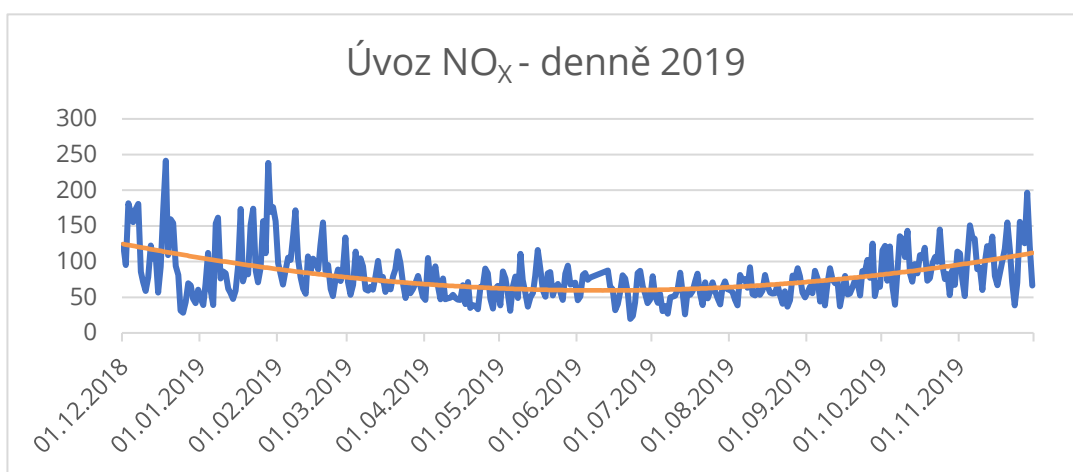
5.3.3 Analýza znečištění během jednotlivých měsíců v roce 2019

Regresní analýza vývoje hodnot zvolených polutantů na dvou stanicích na denních datech za období 12/2018-11/2019 (z důvodu zachování členění dle ročních období). V rámci této analýzy lze vidět roční průběh koncentrací a jejich detailnější vývoj i s ohledem na meteorologické podmínky.



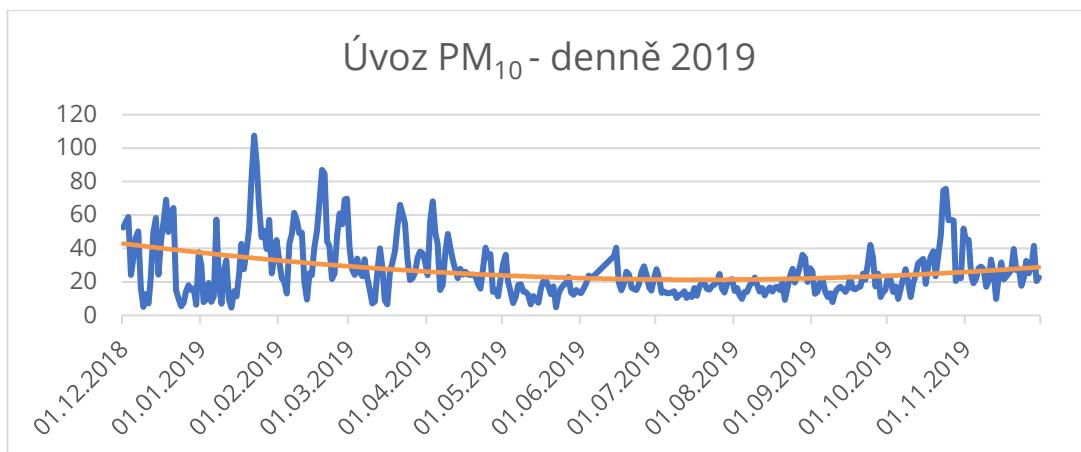
Graf č. 17 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací O_3 v roce 2019 [vlastní]

Na grafu lze vidět postupný roční vývoj koncentrací O_3 . Je zde vidět pozvolný vliv klimatických podmínek, kdy v zimních měsících jsou koncentrace vlivem slabšího slunečního záření nižší než je tomu v letních měsících. Zároveň je patrné, že regresní trend přibližně odpovídá skutečným hodnotám.



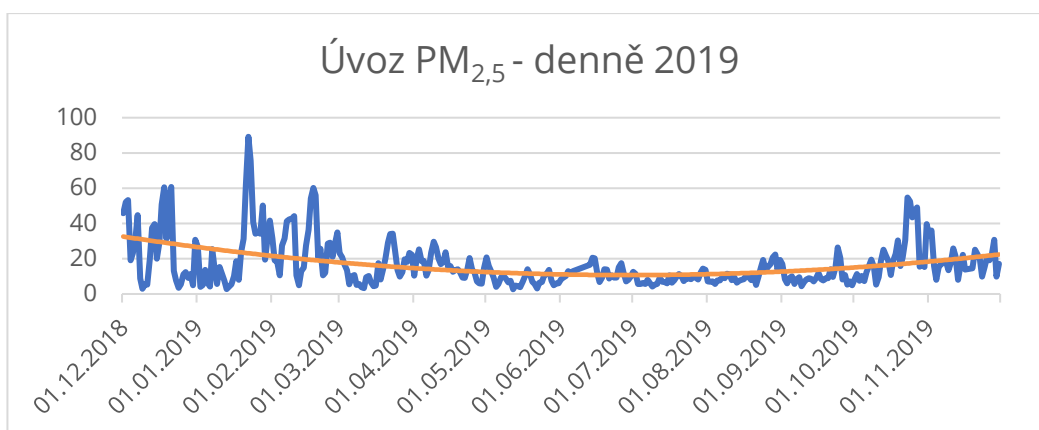
Graf č. 18 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací NO_x [vlastní]

I zde se nám potvrzuje výše zmíněné pravidlo, že v zimních měsících jsou koncentrace NO_x mnohem vyšší, než je tomu během letních měsíců. Zároveň je zde opět vidět i vztah mezi NO_x a O_3 , které mají oproti sobě odlišný průběh, a to i díky jejich vzájemnému působení. Regresní trend rovněž poměrně přesně kopíruje reálně naměřené hodnoty, avšak díky pozorování znečištění pouze během jednoho roku a díky silné závislosti vlivu meteorologie na koncentrace všech polutantů, se jejich vývoj nedá přenést do dalších let.



Graf č. 19 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací PM_{10} [vlastní]

Co se týče grafického měsíčního vývoje koncentrací PM_{10} a následně $PM_{2,5}$ (**graf č. 20**), je vidět jejich shodný vývoj a i podobný regresní trend. Rovněž se zde potvrzuje tvrzení, že v chladnějším období jsou příčinou vyšších koncentrací zdroje tepla v domácnostech v kombinaci se značně zhoršenými rozptylovými podmínkami. Vliv teplot lze krásně vidět na grafu v říjnu, kdy začátek měsíce byl v roce 2019 poměrně teplý, ale v druhé půlce měsíce došlo k ochlazení.



Graf č. 20 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací $PM_{2,5}$ [vlastní]

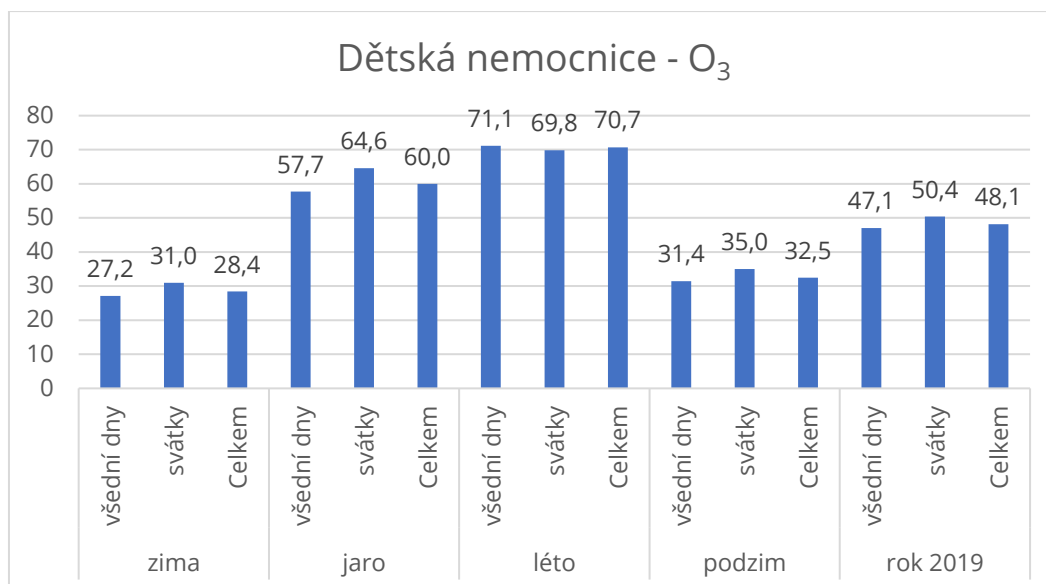
5.3.4 Analýza znečištění během všedních dnů a svátků v roce 2019 s ohledem na roční období

Cílem této části bylo zjistit, jakým způsobem se liší naměřené koncentrace během všedních dnů a svátků během daných ročních období. Lze totiž předpokládat, že během všedních dnů budou koncentrace mnohem vyšší, a to především vlivem dopravy, kdy se lidé dopravují do škol a zaměstnání. Dalším předpokladem pak je, že koncentrace budou vyšší v zimní období (i skrze imise z vytápění), ale díky tomu, že v létě je doprava méně frekventovaná skrze probíhající dovolené a letní prázdniny, ale díky možnosti využívat do zaměstnání další možnosti dopravy jako jsou kola, koloběžky, chůze apod.

Pro analýzu je nutné vypočítat průměrné koncentrace znečištění všech polutantů v roce 2019, podle příslušných ročních období a podle rozlišení na všední dny a svátky. Svátky byly definovány jako: sobota, neděle a všechny volné pracovní dny roku 2019. Konkrétní přehled ukazují tabulky na **obr. č. 34 a 35**.

Dětská nemocnice 2019			O ₃ Průměr
čtvrtletí	zima	všední dny	27,16
		svátky	30,96
		Celkem	28,43
	jaro	všední dny	57,73
		svátky	64,56
		Celkem	59,96
	léto	všední dny	71,14
		svátky	69,82
		Celkem	70,73
	podzim	všední dny	31,42
		svátky	35,04
		Celkem	32,45
	Rok 2019	všední dny	47,06
		svátky	50,41
		Celkem	48,11

Obr. č. 34 - Přehled průměrných koncentrací během všedních dnů a svátků v roce 2019 v rámci měřící stanice Dětská nemocnice [vlastní]



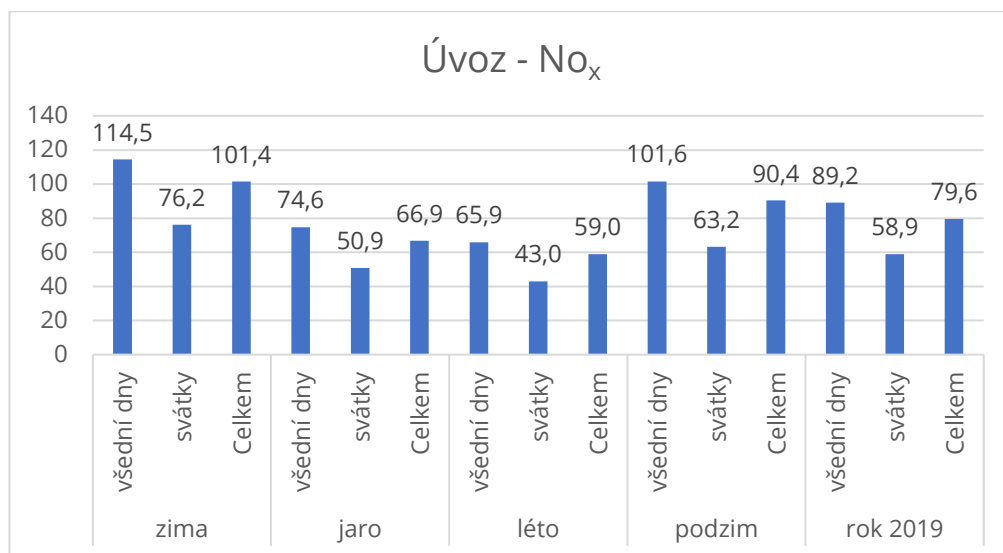
Graf č. 21 - Přehled koncentrací O₃ během všedních dnů a svátků v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Dětská nemocnice [vlastní]

Z grafického srovnání koncentrací O₃, je patrný opět vliv meteorologických podmínek, kdy během letních měsíců jsou jeho koncentrace vyšší než v zimě. Zároveň je zde patrné, že naměřené

koncentrace jsou vyšší ve svátky. To lze vysvětlit díky vzájemnému působení O_3 a NO_x , což nám potvrzuje i následně **graf č. 22**, kdy koncentrace NO_x jsou ve sváteční dny oproti všedním dnům nižší.

Úvoz 2019			NOx	PM10	PM2,5
			Průměr	Průměr	Průměr
čtvrtletí	zima	všední dny	114,46	38,76	28,15
		svátky	76,22	30,43	21,26
		Celkem	101,43	36,05	25,93
	jaro	všední dny	74,62	29,94	13,36
		svátky	50,85	20,88	13,99
		Celkem	66,87	27,20	13,57
	léto	všední dny	65,87	19,51	10,43
		svátky	43,00	17,31	10,17
		Celkem	58,96	18,85	10,35
	podzim	všední dny	101,59	26,76	16,94
		svátky	63,23	23,87	17,24
		Celkem	90,38	25,91	17,03
Rok 2019		všední dny	89,17	28,60	17,12
		svátky	58,85	23,11	15,68
		Celkem	79,60	26,92	16,67

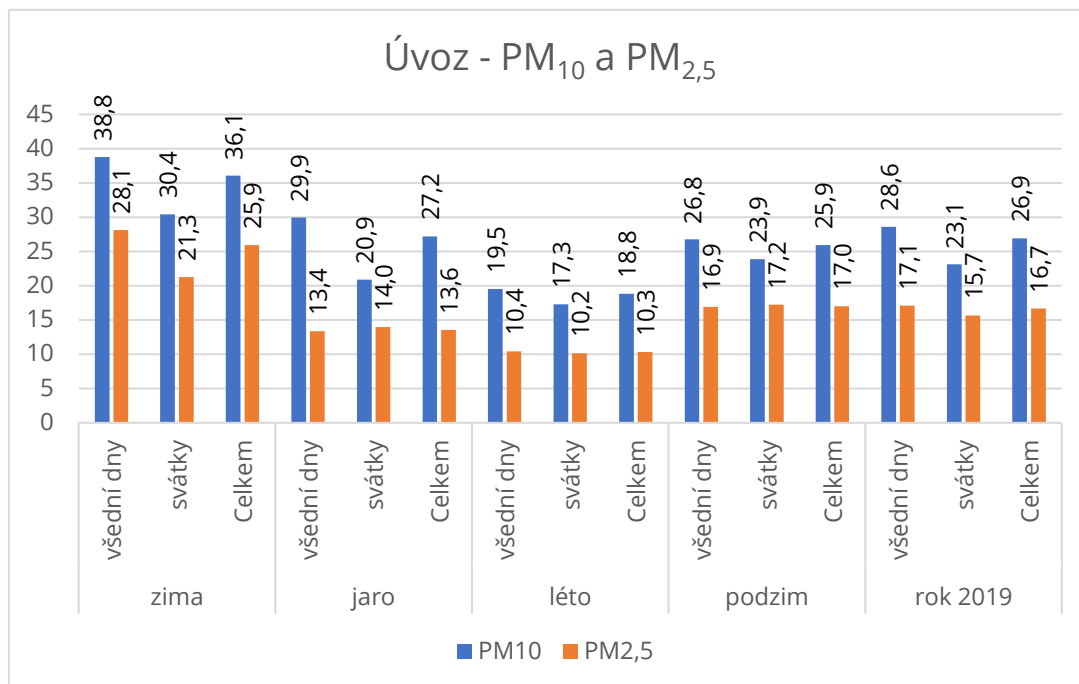
Obr. č. 35 - Přehled průměrných koncentrací během všedních dnů a svátků v roce 2019 v rámci měřící stanice Úvoz [vlastní]



Graf č. 22 - Přehled koncentrací NO_x během všedních dnů a svátků v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz [vlastní]

Koncentrace NO_x u Úvozu bývá obecně ve svátky nižší než ve všední dny, což potvrzuje náš předpoklad, že lidé využívají ve sváteční dny dopravu méně. Obecně na jaře a v létě je koncentrace nižší, což je příčinou klimatických podmínek a díky tomu, že v létě nedochází k znečištění vliv

vytápění domácností. Zároveň zde opravdu vidíme, že koncentrace O₃ nám ve svátky vlivem slabší dopravy rostla, tak koncentrace NO_x ve svátky klesá.



Graf č. 23 - Přehled koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} během všedních dnů a svátků v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz

Koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5} u Úvozu bývá obecně ve svátky nižší než ve všední dny. Obecně na jaře a v létě je koncentrace nižší, což je příčinou vlivu nepříznivých rozptylových podmínek v chladných měsících v kombinaci s vytápěním domácností. Zde už rozdíly mezi všedními dny a svátky nejsou příliš patrné a mnohdy se naopak ve svátky koncentrace zvyšují a to z toho důvodu, že například v zimě lidé topí celý týden, ale díky tomu, že chodí do zaměstnání, tak nemusí topit tolik, protože netráví v domácnosti tolik času, jako je tomu o víkendu.

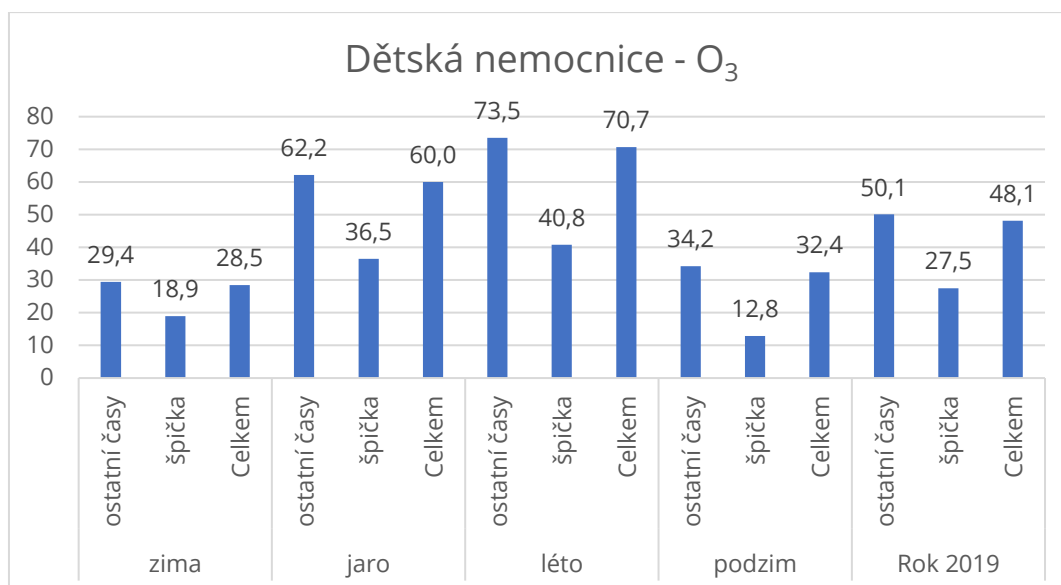
5.3.5 Analýza znečištění během ranních dopravních špiček v roce 2019 s ohledem na probíhající roční období

Z důvodů toho, že doprava má velký vliv na znečištění, byla provedena analýza koncentrací během ranních dopravních špiček. Pro provedení analýzy bylo nejprve nutné vypočítat průměrné koncentrace znečištění všech polutantů v roce 2019, podle příslušných ročních období a podle rozlišení na čas kdy probíhá zpravidla ranní dopravní špička a na ostatní časy během roku 2019. Konkrétní přehled ukazují tabulky na **obr. č. 36 a 37**.

Dopravní ranní špička byla definována jako 6-7 hodin místního času, čili podle UTC se v datech jednalo o hodnoty: v letním čase (jaro-podzim) 4-5 hodin a v zimním čase (zima) 5-6 hodin.

Dětská nemocnice 2019			O ₃ Průměr
čtvrtletí	zima	ostatní časy	29,41
		špička	18,95
		Celkem	28,50
	jaro	ostatní časy	62,19
		špička	36,49
		Celkem	59,96
	léto	ostatní časy	73,55
		špička	40,83
		Celkem	70,71
	podzim	ostatní časy	34,24
		špička	12,85
		Celkem	32,39
Rok 2019		ostatní časy	50,08
		špička	27,47
		Celkem	48,12

Obr. č. 36 - Přehled průměrných koncentrací během dopravních špiček v roce 2019 v rámci měřící stanice Dětská nemocnice [vlastní]



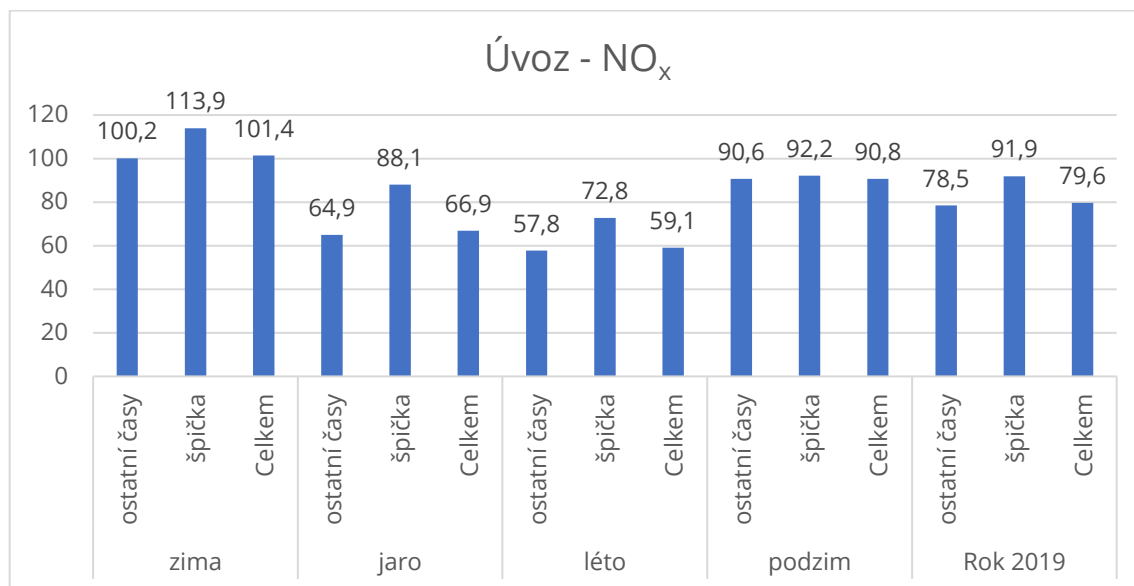
Graf č. 24 - Přehled koncentrací O₃ během dopravních špiček v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Dětská nemocnice [vlastní]

Z grafického srovnání koncentrací O₃, je patrný opět vliv meteorologických podmínek, kdy během letních měsíců jsou jeho koncentrace vyšší než v zimě. Zároveň lze vidět, že naměřené koncentrace jsou nižší během dopravních špiček. To lze vysvětlit díky vzájemnému působení O₃ a NO_x, což nám potvrzuje i následně **graf č. 25**, kdy koncentrace NO_x jsou během dopravních špiček

oproti ostatním časům vyšší. Zároveň se nám zde i potvrzuje vývoj koncentrací během všedních dnů a svátků, kdy vlivem poklesu dopravy ve svátky, koncentrace O_3 rostly.

Úvoz 2019			NO _x Průměr	PM ₁₀ Průměr	PM _{2,5} Průměr
čtvrtletí	zima	ostatní časy	100,16	37,42	26,13
		špička	113,91	33,68	26,25
		Celkem	101,36	37,11	26,14
	jaro	ostatní časy	64,91	25,17	12,88
		špička	88,12	24,31	14,52
		Celkem	66,90	25,10	13,02
	léto	ostatní časy	57,83	18,86	10,27
		špička	72,80	19,96	11,25
		Celkem	59,13	18,95	10,35
	podzim	ostatní časy	90,64	26,13	16,99
		špička	92,15	24,15	17,06
		Celkem	90,77	25,97	17,00
Rok 2019	ostatní časy		78,48	26,99	16,56
	špička		91,93	25,61	17,30
	Celkem		79,64	26,88	16,62

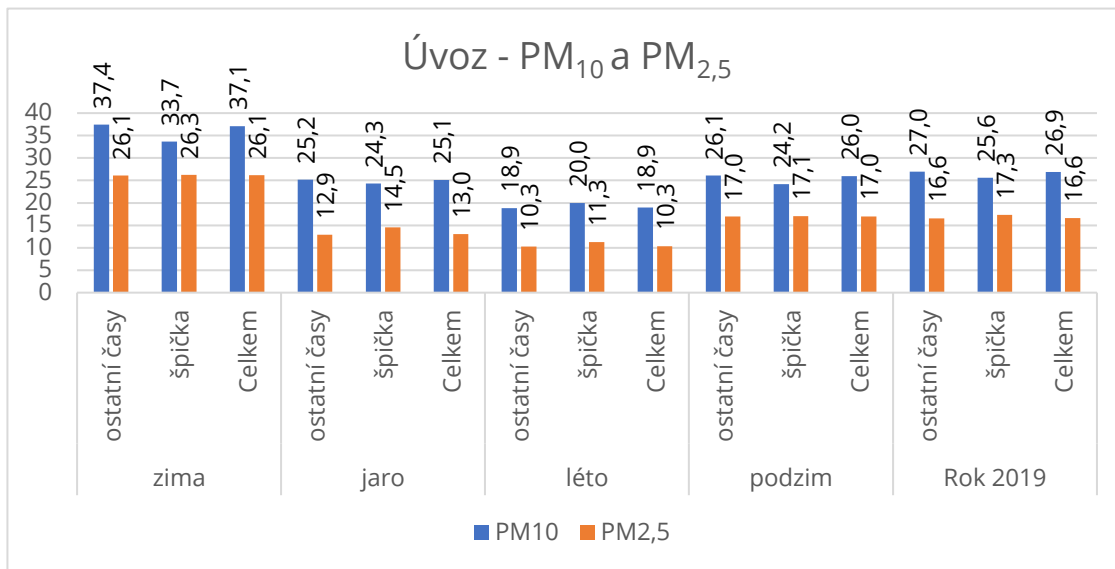
Obr. č. 37 - Přehled průměrných koncentrací během dopravních špiček v roce 2019 v rámci měřící stanice Úvoz [vlastní]



Graf č. 25 - Přehled koncentrací NO_x během dopravních špiček v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz [vlastní]

Koncentrace NO_x u Úvozu bývá obecně v ranní špičce vyšší než mimo špičky v ostatní časy, což potvrzuje náš předpoklad. Obecně na jaře a v létě je koncentrace nižší, což je příčinou klimatických podmínek a díky tomu, že v létě nedochází k znečištění vliv vytápění domácností.

Zároveň je patrné jak se doprava podílí na znečišťování ovzduší právě během jarních a letních měsíců, kdy je rozdíl mezi špičkami a ostatními časy vidět více, jelikož zde nedochází k znečištění vlivem vytápění. Zároveň zde opravdu vidíme, že koncentrace O_3 nám během dopravních špiček klesala vlivem frekventovanější dopravy a naopak koncentrace NO_x během špiček roste.



Graf č. 26 - Přehled koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ během dopravních špiček v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz [vlastní]

Koncentrace PM_{10} u Úvozu bývá obecně v ranní špičce nižší než v ostatní časy a $PM_{2,5}$ naopak vyšší. Obecně na jaře a v létě je koncentrace nižší. Díky čemuž je patrné že doprava se podílí více na znečišťování $PM_{2,5}$. V létě ve špičce je však koncentrace vyšší než v ostatní časy, kdy příčinou jsou nepříznivé rozptylové podmínky během chladných měsíců v kombinaci s vytápěním domácností. Hodnoty jsou podobné těm z předchozí analýzy o svátcích.

6 DISKUZE / ANALÝZA VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ

Regresní analýza byla rozdělena systematicky do několika částí, aby bylo možné zjistit relevantní trend ve vývoji znečištění ovzduší na území města Brna.

Jako první byla provedena roční regresní analýza během období 2015–2019 všech sedmi vybraných stanic a všech polutantů. Následně byla analýza rozčleněna na konkrétních ročních obdobích, tedy zima-jaro-léto-podzim. Díky tomu lze sledovat trend a vliv meteorologických podmínek na znečištění a lze si tím i potvrdit teoretická východiska těchto vlivů. Díky patrnému rozdílu mezi hodnotami polutantu NO_x naměřenými v rámci dopravních a pozadových stanic, bylo zřejmé, že doprava má velký vliv na znečišťování ovzduší v Brně, což šlo také předpokládat. Z tohoto důvodu byla další část analýzy zaměřená na hodnoty koncentrací dopravní měřicí stanice v Brno-Úvoz (koncentrace NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) a pozadové měřicí stanice Brno-Dětská nemocnice (O_3). Z naměřených dat těchto stanic byla nejprve provedena regresní analýza znečištění všech polutantů během období 2015-2019, která byla v další části rovněž doplněna a rozvržena na daná roční období. Postup byl zvolen z důvodu ověření přibližně shodné tendence vývoje znečištění, které byly zjištěny v rámci první „velké“ regresní analýzy, kde byla analyzována data všech vybraných měřicích stanic. Z dosažených výsledků a grafických zobrazení, lze obdobný vývoj znečištění potvrdit. V rámci této analýzy nebylo z důvodu absence relevantních dat možné zhodnotit všechna roční období, ale z grafů je patrná tendence vývoje. Jelikož podobné roční/čtvrtletní analýzy jsou součástí statistických ročenek, které zpracovává ČHMÚ, bylo nutné najít novou oblast pro další průběh analýzy. Následoval rozbor vývoje znečištění během posledního analyzovaného roku tedy 2019, aby byl vyhodnocen i trend nejen během jednotlivých ročních období, ale také jednotlivých měsíců. Tento vývoj byl opět srovnán z hlediska ověření vlivu meteorologických podmínek, které v daném roce na území ČR panovaly. Limitem však zůstává, že zkoumání pouze jednoho roku je krátkým časovým úsekem, protože pár teplotních extrémů, což se na výsledcích projeví. Proto se v oblasti znečišťování doporučují delší časové horizonty ideálně v řadě let, a i tak výsledek nelze aplikovat do budoucna, protože vývoj koncentrací je závislý na mnoha faktorech a meteorologické podmínky hrají velkou roli.

Oblastí, kterou se ČHMÚ ve svých ročenkách nezabývá, je analýza znečištění ovzduší se zaměřením na rozdíl ve všední dny a svátky. Byl stanoven předpoklad, že by znečištění především polutantem NO_x , mělo být během všedních dnů vyšší než ve dny sváteční, což bylo analýzou dat potvrzeno. Tato hypotéza byla stanovena díky tomu, že během všedních dnů je doprava hustější. Stejně tak zde byl splněn i předpoklad meteorologických vlivů, tedy, že naměřené hodnoty NO_x budou v zimě vyšší, a to i současně díky vlivu znečištění pocházejícímu z vytápění domácností. Dále

může být příčinou vyšších koncentrací NO_x v zimních měsících i to, že během léta jsou lidé více na dovolených, či využívají alternativní možnosti dopravy. Díky analýze znečištění během všedních dnů a svátků je patrné vzájemné ovlivňování polutantu NO_x a O_3 , kdy poklesem koncentrací NO_x během svátečních dnů koncentrace O_3 rostou a naopak.

Poslední oblast analýzy byla zaměřena na rozdíl v míře koncentrací všech polutantů - oxidů dusíků, přízemního ozonu a prachových částic frakce 10 a $2,5\ \mu\text{m}$ během tzv. dopravních špiček, které probíhají v ranních hodinách zpravidla mezi 6-7 hodinou ranní a během ostatních časů. Tato oblast byla z hlediska analýzy dat složitější, a o to především kvůli střídání letního a zimního času, ale i toho, že dostupná data jsou měřena v rámci UTC času, tudíž bylo nutné počítat s přepočty na čas „občanský“. Analýzou byl však potvrzen předpoklad, že během špiček je znečištění zejména polutantem NO_x vyšší než během ostatních časů během dne. Svou roli zde hrají i meteorologické vlivy, kdy koncentrace NO_x jsou v zimě vyšší, stejně jako koncentrace PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Koncentrace PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ jsou ovlivněny nepříznivými rozptylovými podmínkami, které se zpravidla vyskytují během chladných měsíců, např. vlivem inverze. Tato skutečnost byla patrná i během výkyvu v roce 2018, kdy byly pozorovány značné nepříznivé podmínky na začátku a na konci roku, proto je patrný značný nárůst koncentrací PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Nelze však opomenout fakt, že velkým zdrojem znečištění PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ zůstávají zdroje vytápění domácností, jejichž vliv se rovněž projevuje během zimních měsíců, ačkoliv vlivem obměny kotlů dochází k jejich postupnému snižování. Zároveň na základě analýzy dopravních špiček došlo opět k potvrzení vzájemného působení (fotolýze) NO_x zejména NO_2 a O_3 , kdy jak tomu bylo u analýzy svátků a všedních dnů, tak při dopravních špičkách dochází k nárůstu koncentrací NO_x , ale zároveň dochází k poklesu koncentrací O_3 .

Provedenou analýzou byl potvrzen vliv meteorologických podmínek na koncentrace analyzovaných polutantů během ročních období i postupný trend snižování těchto koncentrací v čase. Jak již bylo řečeno, velký vliv na znečištění ovzduší mají koncentrace NO_x , u kterých probíhá největší tendence snižování, a to především díky obnově vozových parků, zavedení přísnějších emisních limitů a následkem obnovy zdrojů tepla domácností v zimních obdobích. Právě z vytápění domácností pramení značné znečištění prachovými částicemi zejména $\text{PM}_{2,5}$, takže obměna kotlů by pozitivně ovlivnila i snížení jejich koncentrací. Celkově však lze říci, že Brno je z velké části zásobováno teplem z centrálního vytápění, tudíž například ve srovnání s mnohými vesnicemi (kotle na dřevo, uhlí apod.) jsou zde vlivem vytápění koncentrace prachových částic nižší. Brno je velké město a dochází zde k častým stavebním opravám a úpravám, které se na znečištění ovzduší po dobu jejich trvání rovněž velkým způsobem podílejí. Nabízí se nalezení možností, jak toto znečištění snížit. Používání modernějších, kvalitnějších a udržitelnějších technologií a materiálů během stavebních oprav a úprav by mohlo přispět ke snížení znečištění ovzduší. Zároveň je se stavebními

pracemi spojeno mnoho uzavírek komunikací, při nichž vznikají dopravní kolony a koncentrace emisí, tak rovněž narůstají. Co by, ale dále pomohlo naměřené koncentrace snižovat, je nalézt řešení, jak urychlit dopravu v Brně, či ji z města odvést. Řešením tedy zůstává výstavba brněnského okruhu, který by mohl pozitivně ovlivnit stav ovzduší ve městě, či zavedení nízko emisních zón. Dalším řešením, může být zavedení přísnějších pravidel pro to, jaká auta mohou do města vjet, podporovat například elektromobilitu a další možnosti dopravy, jako zvýhodnění městské hromadné dopravy, či podpora sdíleného cestování.

Součástí analýzy bylo i zhodnocení, zda-li dochází k překračování imisních limitů z pohledu vlivu na lidské zdraví. Z toho zhodnocení byl opomenut přízemní ozón díky tomu, že je pro něj imisní limit stanoven v rámci překračování 8-mi hodinového klouzavého průměru s kterým se v analýze nedisponovalo. V rámci ročních imisních limitů s ohledem na lidské zdraví byly tedy zhodnoceny pouze polutanty PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_x respektive NO_2 , o jehož roční koncentrace během let 2015-2015 byla za tímto účel analýzy doplněna. Během analyzovaného období u polutantů PM_{10} a $PM_{2,5}$ nedošlo k překročení imisního limitu. Naopak tomu bylo u koncentrací polutantu NO_2 u něhož k překračování limitu několikrát během let došlo, zejména pak na dopravních měřicích stanicích. Překračování imisního limitu se týká především měřicí stanice Brno-Svatoplukova, jelikož se tato stanice nachází v těsné blízkosti dvouproudové rušné dopravní tepny, kde se velmi často tvoří dopravní kolony a je zde významně narušena plynulost dopravy. Dále bylo zhodnoceno překračování limitu NO_x pro ochranu vegetace a ekosystému, kde dochází více než k dvojnásobnému překračování (týká se to rovněž stanice Svatoplukova). NO_x ve vyšších koncentracích rostliny poškozuje, nebo může zapříčinit jejich větší náchylnost vůči negativním okolním vlivům jako je například plíseň či mráz. Zároveň se jako součást kyselých dešťů dostává do půd a vod a může tak zapříčinit úhyn ryb.

Hlavní však zůstává zhodnocení překračování imisních limitů a jejich vliv na lidské zdraví, což mohou nejdříve zaznamenat citliví jedinci, mezi které se řadí děti, kojenci, těhotné ženy, starší osoby, osoby s chronickým onemocněním dýchacího a oběhového ústrojí či lidi s oslabenou imunitou (v kombinaci s kouřením, nevhodnou životosprávou či osoby v rekonvalescenci). Pokud dojde k překročení imisního limitu doporučuje se těmto jedincům omezení pohybu venku, omezení namáhavých pohybových aktivit či omezení větrání. Z dlouhodobého hlediska může mít expozice nadlimitním koncentracím prachových částic negativní vliv na centrální nervový systém, dýchací (včetně rakoviny plic), kardiovaskulární a reprodukční systém. NO_x respektive NO_2 , pak negativně ovlivňuje dýchací a kardiovaskulární systém, játra, slezinu, krev či způsobuje bolesti hlavy a úzkosti. Stejně tak mají negativní vliv na dýchací a kardiovaskulární systém nadlimitní koncentrace přízemního ozonu.

7 ZÁVĚR

V diplomové práci byla provedena statistická analýza dat ročních, měsíčních, denních a hodinových dat imisních koncentrací čtyř vybraných polutantů - oxidů dusíků, přízemního ozonu a prachových částic frakce 10 a 2,5 μm na území aglomerace Brno. Grafickou vizualizací byla data naměřených koncentrací popsána a zjištěna dynamika jejich vývojového trendu. U konkrétních škodlivin byly zaznamenány jejich rozdílné vývojové trendy, které reflektovaly různost jejich vlastností. Koncentrace polutantů byly velmi ovlivněny meteorologickými podmínkami. Koncentrace NO_x se pak odrážela zejména od lokálního zatížení dopravou, od čeho se částečně odvíjí i koncentrace přízemního ozonu, a dále pak vliv stacionárních zdrojů, resp. vytápění domácností. Oproti tomu prachové částice byly mnohem více ovlivňovány topnou sezónou a vlivem zhoršených rozptylových podmínek, které panují zejména v zimním období. U všech sledovaných polutantů byl (vyjma pár výjimek) v průběhu let 2015-2019 byl zaznamenán klesající trend jejich imisních koncentrací. To může být zapříčiněno postupnou obnovou vozového parku, zavedením přísnějších emisních limitů, či obnovou kotlů v domácnostech. Klesajícímu trendu koncentrací prachových částic rovněž přispívaly kratší topné sezóny během zimních období. Naměřené hodnoty imisních koncentrací oxidu dusičitého jsou ovlivněny zejména intenzitou dopravy v místě měření a značně se tak lišily koncentrace měřené v rámci dopravních a pozadových měřících stanic. Analýzou bylo potvrzeno, že v době ranní dopravní špičky tedy mezi 6-7 hodinou jsou koncentrace vyšší než v době mimo ni, stejně jako se koncentrace liší během všedních dnů a svátků. Oproti tomu u přízemního ozonu a prachových částic nebyl rozdíl mezi koncentracemi naměřených z dopravních a pozadových stanic tak značný. Jelikož byla doprava společně s vytápěním (stacionárními zdroji emisí) shledána jako hlavní zdroj emisí v brněnské aglomeraci, účinným nástrojem pro snížení koncentrací oxidů dusíku a prachových částic by byly přísnější emisní limity pro spalovací motory, vytváření nízkoemisních zón, či odklon dopravy z centra města. Pro snížení koncentrací prachových částic by pak pomohla další obnova nízkoemisních kotlů. Co se týče koncentrací O_3 , tak největší roli zde mají klimatické podmínky, ale ovlivňuje ho i míra koncentrace NO_x . Analýzou bylo zkoumáno i překračování imisních limitů v závislosti na negativních účincích na lidské zdraví, které nelze opomenout. V průběhu období bylo zaznamenáno překročení imisního limitu zejména oxidu dusičitého, který negativně ovlivňuje zejména dýchací a kardiovaskulární systém.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] POŠKOZENÍ ROSTLIN POLUTANTY V OVZDUŠÍ. *Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně* [online]. [cit. 2021-05-25]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index_soubory/Page2836.htm
- [2] BORTMAN, Marci. *Environmental Encyclopedia. 3rd ed. Detroit* : Gale/Thomson-Gale, 2003. ISBN 0-7876-5486-8.
- [3] BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Vyd. 1. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.
- [4] ČESKO. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, v platném znění. In: Sbírka zákonů České republiky. Praha, 2012.
- [5] ČESKO. Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, v platném znění. In: Sbírka zákonů České republiky. Praha, ročník 1991.
- [6] PEKÁREK, M. a I. JANČAŘOVÁ. *Právo životního prostředí*. I. díl. Brno: Masarykova univerzita, 2002.
- [7] Environmental pollution centers: *What Is Air Pollution?* [online]. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.environmentalpollutioncenters.org/air/>
- [8] DALY, A. a P. ZANNETTI. *An Introduction to Air Pollution – Definitions, Classifications, and History*. In: Zannetti, P., Al-Ajmi, D., Al-Rashied, S. [ed.]: *Ambient Air Pollution. The Arab School for Science and Technology and The EnviroComp Institute, Kalifornie*, [online]. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.nile-center.com/uploads/RQZG7BCW4DGXNSZ.pdf>
- [9] Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2020. ISBN 978-80-7653-009-6.
- [10] Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2000. WHO regional publications. ISBN 92-890-1358-3.
- [11] Air quality guidelines: global update 2005 : particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: World Health Organization Europe, 2006. ISBN 92-890-2192-6.
- [12] Polétavý prach (PM10). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2019 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: https://irz.cz/sites/default/files/latky/Poletavy_prach_Karta_latky_11012019.pdf
- [13] Particulate Matter (PM) Pollution: Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). United States Environmental Protection Agency [online]. 2021 [cit. 2021-05-25]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- [14] Environmental pollution centers: *Particulate Matter Pollution* [online]. [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.environmentalpollutioncenters.org/particulate-matter/>

- [15] Oxidy dusíku (NO_x/NO₂). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2011 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxidy_dusiku_Karta_latky_11012019.pdf
- [16] Nitrogen Oxides Poisoning. *Environmental pollution centers* [online]. 2021 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.environmentalpollutioncenters.org/nitrogen-oxides/>
- [17] KOPP, Jan a Jiří SUDA. *Vybrané kapitoly z fyzické geografie: klimatologie*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN isbn80-7043-257-8.
- [18] HŮNOVÁ, Iva a Svatava JANOUSHKOVÁ. *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN isbn80-246-0796-4.
- [19] Ozone. Minnesota pollution control agency [online]. [cit. 2021-05-25]. Dostupné z: <https://www.pca.state.mn.us/air/ozone>
- [20] Ground-level Ozone Pollution: *Health Effects of Ozone Pollution*. United States Environmental Protection Agency [online]. 2021 [cit. 2021-05-25]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>
- [21] CÍLEK, Václav, Erich LIPPERT, ed. *Ozonová vrstva Země: vznik, funkce, poškozování a jeho důsledky, možnosti nápravy*. Vyd. 1. Praha: Vesmír, 1995. ISBN isbn80-901131-5-x.
- [22] Ground-level Ozone Pollution: *Ecosystem Effects of Ozone Pollution*. United States Environmental Protection Agency [online]. 2021 [cit. 2021-05-25]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#effects>
- [23] Program zlepšování kvality ovzduší: *Aglomerace Brno CZ06A. Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7//cz/vestnik_mzp_2020/\\$FILE/SOTPR-Vestnik_listopad_2020_priloha1-201124.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7//cz/vestnik_mzp_2020/$FILE/SOTPR-Vestnik_listopad_2020_priloha1-201124.pdf)
- [24] Tab. II.1 *Rozdělení zdrojů znečišťování podle způsobu sledování emisí*. Český hydrometeorologický ústav [online]. 2017 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/tab/tabII1_CZ.html
- [25] VYSOUDIL, Miroslav. *Ochrana ovzduší*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002. ISBN 80-244-0400-1.
- [26] Stanice imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. ČHMÚ Brno [online]. 2021 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2021/02/15/stanice-imisniho-monitoringu-v-jihomoravskem-kraji/>
- [27] Monitorovací stanice Zvonařka: *Informace o stanici*. In: Kvalita ovzduší imisní monitoring [online]. [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.brnenskeovzdusi.cz/brno-zvonarka/>
- [28] HINDLS, Richard. *Statistika pro ekonomy*. 7. vyd. Praha: Professional Publishing, 2006. ISBN 80-86946-16-9.

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací NO _x podle typu stanice [vlastní]	45
Graf č. 2 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací O ₃ podle typu stanice [vlastní]	46
Graf č. 3 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací PM ₁₀ podle typu stanice [vlastní]	46
Graf č. 4 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací PM _{2,5} podle typu stanice [vlastní]	47
Graf č. 5 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací NO _x podle typu stanice [vlastní]	50
Graf č. 6 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací O ₃ podle typu stanice [vlastní]	50
Graf č. 7 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM ₁₀ podle typu stanice [vlastní]	51
Graf č. 8 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM _{2,5} podle typu stanice [vlastní]	51
Graf č. 9 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací O ₃ stanice Dětská nemocnice [vlastní]	53
Graf č. 10 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací NO _x stanice Úvoz [vlastní]	54
Graf č. 11 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací PM ₁₀ stanice Úvoz [vlastní]	54
Graf č. 12 - Parabolický regresní trend vývoje ročních hodnot koncentrací PM _{2,5} stanice Úvoz [vlastní]	54
Graf č. 13 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací O ₃ stanice Dětská nemocnice [vlastní]	56
Graf č. 14 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací NO _x stanice Úvoz [vlastní]	57
Graf č. 15 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM ₁₀ [vlastní]	57
Graf č. 16 - Parabolický regresní trend vývoje čtvrtletních hodnot koncentrací PM _{2,5} [vlastní]	58
Graf č. 17 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací O ₃ v roce 2019 [vlastní]	59
Graf č. 18 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací NO _x [vlastní]	59
Graf č. 19 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací PM ₁₀ [vlastní]	60
Graf č. 20 - Parabolický regresní trend vývoje měsíčních hodnot koncentrací PM _{2,5} [vlastní]	60
Graf č. 21 - Přehled koncentrací O ₃ během všedních dnů a svátků v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Dětská nemocnice [vlastní]	61
Graf č. 22 - Přehled koncentrací NO _x během všedních dnů a svátků v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz [vlastní]	62

Graf č. 23 - Přehled koncentrací PM ₁₀ a PM _{2,5} během všedních dnů a svátků v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz.....	63
Graf č. 24 - Přehled koncentrací O ₃ během dopravních špiček v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Dětská nemocnice [vlastní]	64
Graf č. 25 - Přehled koncentrací NO _x během dopravních špiček v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz [vlastní]	65
Graf č. 26 - Přehled koncentrací PM ₁₀ a PM _{2,5} během dopravních špiček v rámci ročních období v roce 2019 na stanici Úvoz [vlastní].....	66

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 - Zóny a aglomerace pro hodnocení kvality ovzduší [9]	15
Obr. č. 2 - Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [4]	15
Obr. č. 3 - Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace [4]	15
Obr. č. 4 - Imisní limity pro troposférický ozon [4]	15
Obr. č. 5 - Doporučené hodnoty WHO pro ochranu vegetace [10]	16
Obr. č. 6 - Doporučené hodnoty WHO pro ochranu lidského zdraví [10]	17
Obr. č. 7 – Roční průměrné koncentrace PM ₁₀ v roce 2019 [9]	20
Obr. č. 8 Roční průměrné koncentrace PM _{2,5} v roce 2019 [9]	20
Obr. č. 9 – Vývoj emisí PM ₁₀ během let 2009-2018 [9]	21
Obr. č. 10 – Vývoj emisí PM _{2,5} během let 2009–2018 [9]	22
Obr. č. 11 – Roční průměrné koncentrace NO _x v roce 2019 [9]	25
Obr. č. 12 – Vývoj emisí NO _x v letech 2009-2018 [9]	25
Obr. č. 13 - Průměrné měsíční koncentrace maximálního 8hod. klouzavého průměru O ₃ v roce 2019 [9]	28
Obr. č. 14 – Nejvyšší maximální denní 8hod. průměry koncentrací O ₃ v letech 2017-2019 [9]	28
Obr. č. 15 - Vývoj koncentrací O ₃ během let 2009-2019 [9]	29
Obr. č. 16 - Rozdělení zdrojů znečišťování podle způsobu sledování emisí [24]	31
Obr. č. 17 – Stanice imisního monitoringu v Brně [26]	33
Obr. č. 18 – Monitorovací stanice Brno-Zvonařka [27]	33
Obr. č. 19 - Tabulkový přehled měřících stanic a měřících škodlivin [vlastní]	34
Obr. č. 20 - Průměrná roční koncentrace PM _{2,5} v roce 2019 v Aglomeraci Brno [9]	35
Obr. č. 21 – Průměrná roční koncentrace PM ₁₀ v letech 2010-2019 v Aglomeraci Brno [9]	35
Obr. č. 22 - Průměrné roční koncentrace NO ₂ v roce 2019 v Aglomeraci Brno [9]	36
Obr. č. 23 - Emise TZL v členění dle REZZO, aglomerace Brno, 2008 a 2018 [9]	37
Obr. č. 24 - Tabulkový přehled měřících stanic pro praktickou část [vlastní]	39
Obr. č. 25 – Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací všech polutantů podle stanic [vlastní]	44
Obr. č. 26 - Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací všech dat polutantů podle typu stanic [vlastní]	45
Obr. č. 27 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací všech polutantů podle typu stanice 1. část [vlastní]	48
Obr. č. 28 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací všech polutantů podle typu stanice 2. část [vlastní]	49
Obr. č. 29 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací všech polutantů podle typu stanice 3. část [vlastní]	49

Obr. č. 30 - Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací O_3 v Dětské nemocnici [vlastní]	53
Obr. č. 31 - Přehled průměrných ročních hodnot koncentrací NO_x , PM_{10} a $PM_{2,5}$ v stanici Úvoz [vlastní]	53
Obr. č. 32 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací O_3 stanice Dětská nemocnice [vlastní]	55
Obr. č. 33 - Přehled průměrných čtvrtletních hodnot koncentrací NO_x , PM_{10} a $PM_{2,5}$ stanice Úvoz [vlastní]	56
Obr. č. 34 - Přehled průměrných koncentrací během všedních dnů a svátků v roce 2019 v rámci měřicí stanice Dětská nemocnice [vlastní].....	61
Obr. č. 35 - Přehled průměrných koncentrací během všedních dnů a svátků v roce 2019 v rámci měřicí stanice Úvoz [vlastní]	62
Obr. č. 36 - Přehled průměrných koncentrací během dopravních špiček v roce 2019 v rámci měřicí stanice Dětská nemocnice [vlastní].....	64
Obr. č. 37 - Přehled průměrných koncentrací během dopravních špiček v roce 2019 v rámci měřicí stanice Úvoz [vlastní]	65

SEZNAM ZKRATEK

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR.....	Česká republika
EU	Evropská unie
HDP	hrubý domácí produkt
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
MMB	Magistrát města Brna
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PM.....	Particular Matter
REEZO	Registr emisí a stacionárních zdrojů
SVRS.....	Smogový varovný a regulační systém
TZL	tuhé znečišťující látky
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
ZÚ	zdravotní ústav

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Výpočty ročních regresních hodnot všech polutantů, podle typu měřicí stanice během let 2015-2019 v rámci všech stanic

Příloha č. 2 - Výpočty čtvrtletních regresních hodnot všech polutantů, podle typu měřicí stanice během let 2015-2019 v rámci všech stanic

Příloha č. 3 – Výpočty regresních hodnot pro roční analýzu znečištění v roce 2019 na stanice Dětská nemocnice a Úvoz

Příloha č. 4 - Výpočty regresních hodnot pro čtvrtletní analýzu znečištění v roce 2019 na stanice Dětská nemocnice a Úvoz

Příloha č. 5 - Výpočty regresních hodnot pro měsíční analýzu znečištění v roce 2019 na stanice Dětská nemocnice a Úvoz

Příloha č. 1 – Výpočty ročních regresních hodnot všech polutantů, podle typu měřicí stanice během let 2015-2019 v rámci všech stanic

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	84,835	32,117		2,641	,018
	t	7,515	23,541	,402	,319	,754
	t2	-1,899	3,776	-,634	-,503	,622

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: No_x

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	38,826	20,823		1,865	,089
	t	-7,689	15,042	-,782	-,511	,619
	t2	,892	2,394	,570	,372	,717

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: No_x

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	55,662	20,382		2,731	,112
	t	-7,970	15,533	-1,312	-,513	,659
	t2	1,942	2,540	1,955	,765	,524

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: O₃

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	49,465	9,999		4,947	,000
	t	1,707	7,620	,320	,224	,826
	t2	-,031	1,246	-,036	-,025	,980

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: O₃

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	25,394	3,938		6,448	,000
	t	1,669	2,887	,734	,578	,571
	t2	-,325	,463	-,890	-,701	,493

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: PM₁₀**Coefficients^{a,b}**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	18,281	3,816		4,791	,000
	t	4,074	2,908	1,904	1,401	,187
	t2	-,718	,475	-2,053	-1,510	,157

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: PM₁₀**Coefficients^{a,b}**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	21,913	4,938		4,437	,001
	t	,090	3,530	,035	,025	,980
	t2	-,212	,553	-,526	-,384	,708

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: PM_{2,5}**Coefficients^{a,b}**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	10,723	4,277		2,507	,031
	t	5,768	2,885	2,847	2,000	,073
	t2	-,958	,440	-3,096	-2,174	,055

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: PM_{2,5}

Příloha č. 2 - Výpočty čtvrtletních regresních hodnot všech polutantů, podle typu měřící stanice během let 2015-2019 v rámci všech stanic

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	77,245	15,849		4,874	.000
	t	4,795	11,360	,192	,422	,674
	t2	-1,597	1,857	-,392	-,860	,393
	léto	-13,284	8,791	-,163	-1,511	,135
	podzim	23,276	8,791	,286	2,648	.010
	zima	43,476	8,791	,534	4,945	.000

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: NO_x

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	25,565	9,996		2,558	.013
	t	-2,210	7,140	-,189	-,310	,758
	t2	,116	1,160	,061	,100	,921
	léto	-5,556	5,419	-,148	-1,025	,310
	podzim	6,493	5,419	,173	1,198	,236
	zima	16,670	5,521	,433	3,019	.004

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: NO_x

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	70,739	11,717		6,037	.000
	t	-10,321	8,398	-,724	-1,229	,239
	t2	2,287	1,373	,981	1,665	,118
	léto	11,180	6,499	,240	1,720	,107
	podzim	-22,768	6,499	-,489	-3,503	.004
	zima	-31,716	6,499	-,681	-4,880	.000

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: O₃

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	60,017	6,019		9,972	.000
	t	,974	4,314	,073	,226	,822
	t2	,096	,705	,044	,136	,892
	léto	12,838	3,339	,293	3,845	.000
	podzim	-21,048	3,339	-,480	-6,304	.000
	zima	-29,520	3,339	-,673	-8,842	.000

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: O₃

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	26,318	2,952		8,917	.000
	t	-,342	2,068	-,066	-,165	,869
	t2	-,035	,337	-,041	-,104	,918
	léto	-4,738	1,600	-,282	-2,961	.004
	podzim	1,843	1,600	,110	1,152	,253
	zima	10,216	1,600	,609	6,386	.000

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: PM₁₀Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	16,505	3,406		4,845	.000
	t	3,309	2,441	,689	1,355	,181
	t2	-,574	,399	-,731	-1,439	,156
	léto	-2,305	1,889	-,147	-1,220	,228
	podzim	2,317	1,889	,148	1,226	,225
	zima	9,911	1,889	,632	5,245	.000

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: PM₁₀Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	23,770	2,895		8,210	.000
	t	-3,564	1,999	-,642	-1,783	,080
	t2	,355	,319	,401	1,116	,269
	léto	-4,833	1,486	-,270	-3,252	.002
	podzim	3,195	1,486	,179	2,150	.036
	zima	13,327	1,536	,712	8,677	.000

a. typ = dopravní

b. Dependent Variable: PM_{2,5}Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	13,054	3,026		4,314	.000
	t	2,636	2,153	,577	1,224	,226
	t2	-,491	,347	-,665	-1,412	,164
	léto	-2,736	1,594	-,189	-1,717	,092
	podzim	1,941	1,594	,134	1,218	,229
	zima	10,232	1,663	,673	6,152	.000

a. typ = požadová

b. Dependent Variable: PM_{2,5}

*Příloha č. 3 – Výpočty regresních hodnot pro roční analýzu znečištění v roce 2019 na stanice
Dětská nemocnice a Úvoz*

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	40,004	7,661		5,222	,035
	t	2,784	5,838	1,162	,477	,680
	t2	-,168	,955	-,429	-,176	,876

a. Dependent Variable: O₃

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	139,455	31,029		4,494	,139
	t	-19,984	19,073	-,2148	-,1048	,485
	t2	1,587	2,703	1,204	,587	,662

a. Dependent Variable: NO_x

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,495	22,932		,152	,904
	t	12,992	14,096	4,729	,922	,526
	t2	-1,645	1,997	-,4224	-,823	,562

a. Dependent Variable: PM₁₀

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	8,324	7,497		1,110	,467
	t	4,476	4,609	4,855	,971	,509
	t2	-,568	,653	-,4347	-,870	,544

a. Dependent Variable: PM_{2,5}

*Příloha č. 4 - Výpočty regresních hodnot pro čtvrtletní analýzu znečištění v roce 2019 na stanici
Dětská nemocnice a Úvoz*

Coefficients ^a					
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
Model		B	Std. Error	Beta	t
1	(Constant)	49,012	6,266		7,822
	t	3,459	4,491	,259	,770
	t2	-,228	,734	-,104	-,310
	léto	13,342	3,476	,306	3,839
	podzim	-21,807	3,476	-,500	-6,274
	zima	-32,888	3,476	-,754	-9,462

a. Dependent Variable: O₃

Coefficients ^a					
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
Model		B	Std. Error	Beta	t
1	(Constant)	103,861	10,604		9,795
	t	-4,687	7,600	-,245	-,617
	t2	-,630	1,243	-,202	-,507
	léto	-16,275	5,882	-,261	-2,767
	podzim	19,219	5,882	,308	3,268
	zima	45,315	5,882	,726	7,704

a. Dependent Variable: NO_x

Coefficients ^a					
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
Model		B	Std. Error	Beta	t
1	(Constant)	27,268	9,798		2,783
	t	-3,242	6,319	-,611	-,513
	t2	,549	1,010	,645	,543
	léto	-1,266	4,875	-,077	-,260
	podzim	5,396	4,875	,326	1,107
	zima	8,753	4,875	,529	1,795

a. Dependent Variable: PM₁₀

Coefficients^a

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
Model		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	30,954	7,123		4,345	,001
	t	-11,369	4,519	-.2,177	-2,516	,027
	t2	1,579	,701	1,934	2,252	,044
	léto	-1,672	3,136	-.109	-.533	,604
	podzim	4,946	3,136	,323	1,577	,141
	zima	12,104	3,239	,733	3,737	,003

a. Dependent Variable: PM_{2.5}

*Příloha č. 5 - Výpočty regresních hodnot pro měsíční analýzu znečištění v roce 2019 na stanice
Dětská nemocnice a Úvoz*

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	6927,190	4597,844		1,507	,133
	denní datum	-4,985E-7	,000	-,197	-1,494	,136
	léto	14,723	3,387	,279	4,347	,000
	podzim	-19,656	5,672	-,368	-3,465	,001
	zima	-35,449	3,377	-,669	-10,496	,000

a. Dependent Variable: O₃

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-15809,909	10003,694		-1,580	,115
	denní datum	1,153E-6	,000	,299	1,587	,113
	léto	-17,331	7,519	-,211	-2,305	,022
	podzim	5,309	12,347	,066	,430	,667
	zima	43,382	7,295	,535	5,947	,000

a. Dependent Variable: NO_x

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2683,040	4890,480		,549	,584
	denní datum	-1,928E-7	,000	-,105	-,543	,587
	léto	-6,699	3,823	-,171	-1,752	,081
	podzim	1,835	6,187	,047	,297	,767
	zima	7,377	3,592	,186	2,054	,041

a. Dependent Variable: PM₁₀

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2994,472	3774,090		-,793	,428
	denní datum	2,184E-7	,000	,153	,797	,426
	léto	-5,047	2,883	-,165	-1,750	,081
	podzim	-,032	4,706	-,001	-,007	,995
	zima	14,059	2,764	,461	5,086	,000

a. Dependent Variable: PM_{2,5}